

ミャンマー国
農村地域における再生可能エネルギー導入調査

最終報告書

第4巻 主報告書 持続型小水力マニュアル

Part 4-1	小水力運転保守マニュアル
Part 4-2	小水力設計マニュアル
Part 4-3	村落水力設計マニュアル
Part 4-4	制度・財務面

ミャンマー国・農村地域における再生可能エネルギー導入調査
最終報告書

第4巻 主報告書： 持続型小水力マニュアル

Part 4-3 村落水力設計マニュアル

目次

1. 序章	1
1.1 村落事業に用いる電源	1
1.2 村落水力による村落事業	2
1.3 村落事業に対する支援	3
1.4 村落事業の実施手順	4
2. 調査および計画	6
2.1 需要および設備容量の概算	6
2.2 村落水力に必要な落差および流量	8
2.3 水力ポテンシャル調査	11
3. 土木設備設計	19
3.1 発電設備の配置	19
3.2 水路構造物の基本寸法	21
3.3 取水口	24
3.4 導水路	26
3.5 ヘッドタンク	31
3.6 ペンストック	33
3.7 発電所	36
3.8 放水路	38
4. 水力用機械・電気機器の設計	39
4.1 水車、発電機、変圧器、配電線の計画	39
4.2 水車	40
4.3 村落水力用水車の製作	43
4.4 発電機	53
4.5 出力伝達機構	57
4.6 送電線	59
4.7 昇圧	64

付表リスト

表 1	需要者タイプごとの単位電力需要	6
表 2	村落規模による電化需要	7
表 3	村落規模ごとの所要発電機出力	8
表 4	出力・流量・落差の関係	10
表 5	計算例 (世帯数 200、落差 10m)	10
表 6	水路構造物寸法の計算例	22
表 7	水路構造物の基本寸法	23
表 8	村落水力用クロスフロー型水車のランナ寸法	44
表 9	ブレード数とピッチ	45
表 10	ランナ外径とブレード厚さ	45
表 11	クロスフロー型水車の適用	49
表 12	ピローブロック形軸受寸法表	50
表 13	オイルシールの寸法表	52
表 14	発電機の種類	53
表 15	ACSR 線のサイズと単相 400V 送電線の送電距離	60
表 16	ACSR 線のサイズと単相 600V 送電線の送電距離	60
表 17	ACSR 線のサイズと 3 相 600V 送電線の送電距離	61

付図リスト

図 1	村落事業に用いられる電源	1
図 2	太陽光・風力発電を用いた家庭・公共施設のバッテリーによる電化	1
図 3	村落事業用電源の予備選定表	2
図 4	村落事業模式図	2
図 5	発電所と村落間に距離がある場合の村落事業模式図	3
図 6	村落事業に対する支援	3
図 7	村落事業の実施手順	4
図 8	流量と出力の季節変動	11
図 9	浮子法による流量観測	12
図 10	水位 - 流量曲線	14
図 11	ホースによる落差測定	15

図 12	村落水力用水車の適用領域	40
図 13	立軸プロペラ水車図	41
図 14	パッケージ型マイクロ水車発電機	41
図 15	ピコ hidro	42
図 16	クロスフロー水車内の流れ	42
図 17	ランナの構造外観	43
図 18	ランナ羽根の寸法	45
図 19	クロスフロー型水車ケーシングの寸法	46
図 20	上掛けバンキ水車ケーシングの寸法	46
図 21	下掛けバンキ水車のケーシング寸法	47
図 22	バンキ水車用ノズル寸法	47
図 23	クロスフロー水車の落差工などへの適用	48
図 24	下掛けクロスフロー水車の水路への適用例	49
図 25	グランドパッキングの構造	51
図 26	オイルシールの種類	51
図 27	3 相交流と単相交流	53
図 28	交流発電機の原理と特性	54
図 29	複巻単相発電機	55
図 30	複巻単相発電機の負荷特性	56
図 31	コンデンサ励磁方式	56
図 32	無負荷電圧と電流の例	56
図 33	回転速度と残留電圧	57
図 34	V ベルトによる増速	58
図 35	送電線の電圧降下	59
図 36	V 結線	64
図 37	400/230 V の V 結線	64
図 38	600/230 V 辺延び 結線	65
図 39	負荷電圧への降圧	65

添付資料リスト (第 6 巻 Part 6-3 に収録)

- Appendix 1 Introduction of LED Lighting
- Appendix 2 Project Examples
 - Appendix 2-1 Sem Pai Micro Hydro Project Using Grass Root Grant
 - Appendix 2-2 Micro Hydro Project in Thale Oo Village
 - Appendix 2-3 Micro Hydro Projects in Kyauk Ye Oo and PaOh-Gawraka Village
 - Appendix 2-4 Micro Hydro Project in Hanpo Village
- Appendix 3 Design of Crossflow
 - Appendix 3-1 Design of Crossflow Turbine Blade
 - Appendix 3-2 Effect of Nozzle Shape on the Turbine Performance
- Appendix 4 Line Connection Work for Village Distribution Line
- Appendix 5 Cost for House Wiring

「村落水力設計マニュアル」の利用方法

村落水力マニュアルの想定ユーザー

「村落水力設計マニュアル」は設備容量 50 kW 以下の村落水力による小規模電化事業の設計・施工に携わる MEPE 技術者による利用を想定している。また、本設計マニュアルは村落水力によるこれらの小規模電化事業を支援する個人や組織、及び設計・施工を請け負う民間セクターにとっても有用であると考えられる。

村落水力とは？

村落水力とは、農村の電灯需要を主たる供給先とした設備容量 50 kW 以下の小水力発電と定義される。電灯以外にもラジオや消費電力が少ない小さなテレビなども村落水力に接続することができる。但し、家内工業用のモーター、灌漑ポンプ、ヒーターなどは、水車流量の手動調整ができないほどの大きな負荷変動を起こし、時には危険な電圧昇降を生じさせる為、村落水力に接続してはならない。

村落水力の主目的は、村落住民自身の費用負担によって実現できる程の低廉な設備で、自助努力によって村落電化を実現することである。低コストの電化事業実現のためには、計画や設計段階の検討を通じて初期投資額を限りなく削減する必要がある。例えば、村落水力による電化事業が対象とする負荷は通常小さく、また安定しているため、発電電力の自動調整が不要である。従い、自動调速機の省略などによってコストを最小限に抑えることが可能である。また、取水せきは必ずしも永久構造物として設計する必要がなく、場合によっては毎年の洪水で流出してしまうような物でもよいと考えられるし、水路のライニングを省略することも検討すべきである。同時に、骨材などの採掘・運搬、木製電柱の製造・据付などの労働力を受益者である農村から提供してもらうことによって建設費を削減することが可能である。

「村落水力設計マニュアル」の内容

「村落水力設計マニュアル」は村落水力の設計・施工において必要となる技術指針や情報を取り纏めたものであり、具体的には以下の内容について記述してある

発電計画： 需要予測、発電機容量の算定、必要水車流量の算出、サイト選定、現地踏査、プロジェクトの配置計画

土木設計： 取水せき、取水口、道水路、ヘッドタンク、ペンストック、発電所、放水路の設計

水車発電機設計：村落水力に適しているクロスフロー水車の概要、発電機、カップリング

配電設計： 配電線導体サイズ、配電電圧、電圧低下

Part 4-3 設計マニュアル 村落水力

設備容量 50 kW 以下の村落水力によって電化できる村落規模は、公共施設を除き、各世帯 80 W の需要を想定した場合、300 世帯程度である。この規模の村落電化を村落水力によって実現させるためには、土木設計、水車発電機、送配電のそれぞれにおいて適切な計画・設計を行い、水力ポテンシャルを最大限活用することが大切である。なお、通常、送配電設備が建設費の大きな部分を占める。

1. 序章

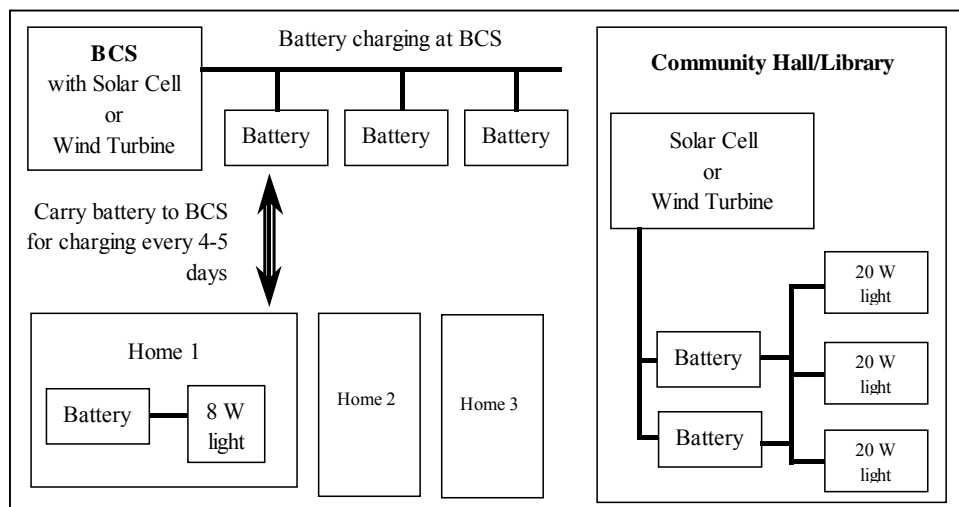
1.1 村落事業に用いる電源

村落事業は設備容量 50 kW 以下の電源によって行う小規模村落電化であり、以下の電源が適当である。



図 1 村落事業に用いられる電源

上記のようなポテンシャルが利用できない遠隔地に位置する農村においては太陽光発電や風力発電によるバッテリーを用いた簡易照明も選択肢として考えられる。





Source: JICA Study Team

図 2 太陽光・風力発電を用いた家庭・公共施設のバッテリーによる電化

しかしながら、これらの電源のコストは割高であり、通常、農民の支払可能額(Ability to Pay: ATP)を超過してしまうことから、外部からの支援なしに実現は困難である。太陽光・風力の利用技術については Part 8-2 Solar and Wind Power, Volume 8 Supporting Report に記載しているため、本マニュアルでは割愛している。

村落事業を実施する際は、まず下図を参照し、対象とする村落に適した電源を選定する必要がある。

No.	Region	DHP		MEPE and VEC			
		Extension of Distribution Lines from	Small & mini-hydro	Village Hydro (Micro/Pico)	Solar BCS	Wind BCS	Biomass gas engine
			50-10,000 kW	<50 kW	0.1-3 kW	0.5-3 kW	10-50 kW
1	Mountain Regions						with rice husk or sawdust
2	Delta and Paddy Cultivating Regions		-	on irrigation channel		where wind prevails	with rice husk
3	Coastal Regions						with rice husk or sawdust
4	Remote and hardly accessible areas	-					with rice husk
5	Urban Areas including Suburbs		-	-	-	-	-

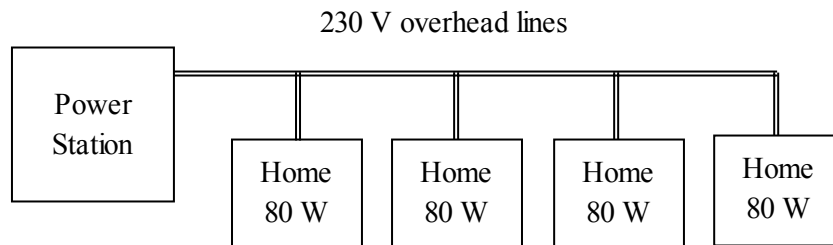
Legend:  This pattern means out of scope of the current study.
 Shows level of potential for implementation.
 Biogas may be useful for lighting and cooking in those households in the border areas which are scattered in wide areas and, therefore, favor such individual system as for own home use rather than the distribution line-connected RE system.

Source: JICA Study Team

図 3 村落事業用電源の予備選定表

1.2 村落水力による村落事業

村落水力による村落事業は、水力ポテンシャルを活用した、各世帯 80W 程度の電灯需要を想定した農村電化である。村落水力は近隣の水力ポテンシャルを用いて発電し、低圧配電線(230V)によって農村電化を行うものであり、その模式図を下記に示す。



Source: JICA Study Team

図 4 村落事業模式図

発電所と村落との間の距離が著しく離れている場合は送電ロスを抑えるために、400-720V の低圧送電線を用いることが好ましい。

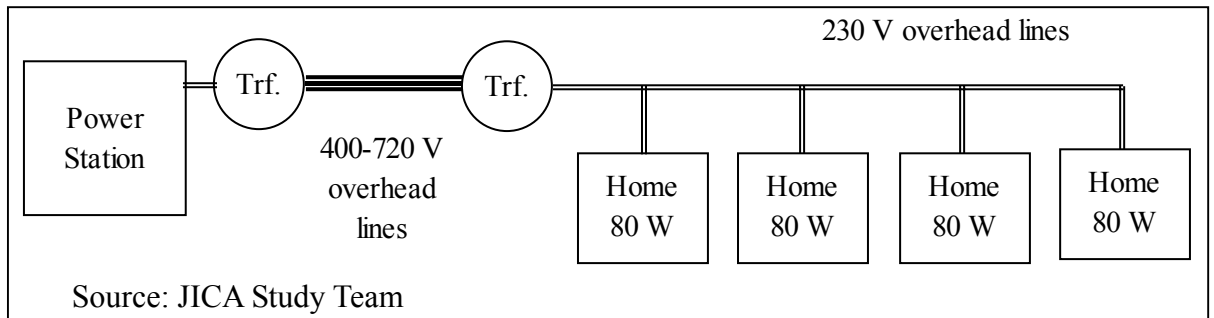
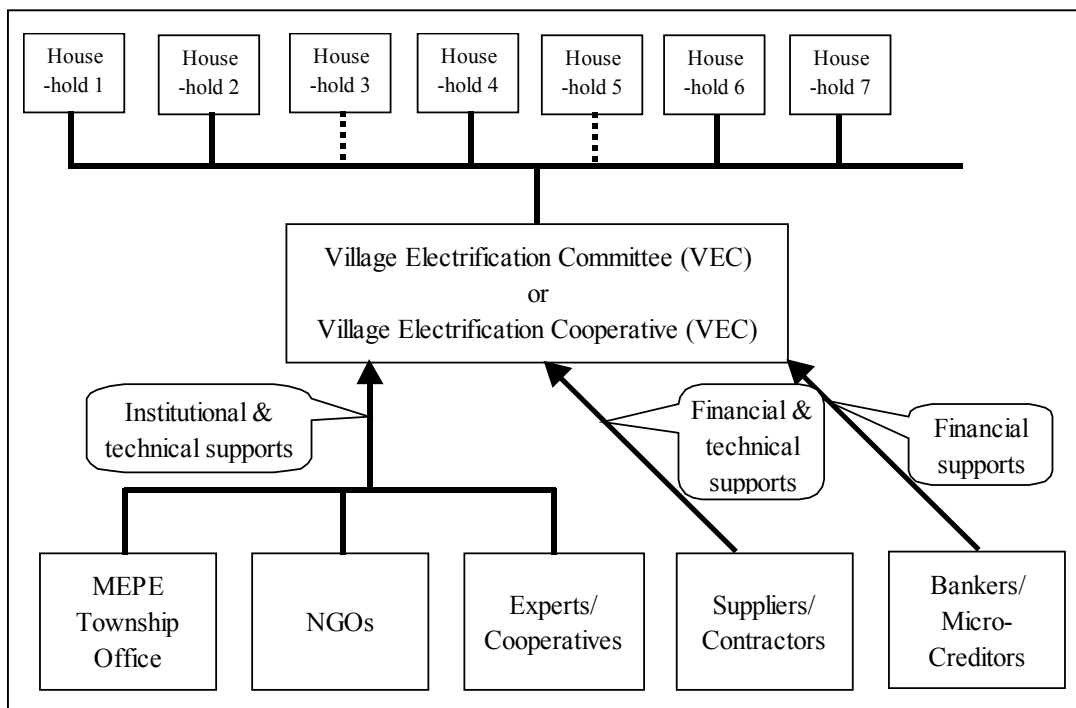


図 5 発電所と村落間に距離がある場合の村落事業模式図

本マニュアルは村落水力による村落事業を想定しているが、需要予測や送配電線計画の章は、モミガラバイオマス発電などにも適用できる。

1.3 村落事業に対する支援

村落事業に対する支援は下記の 3 組織からのものが考えられる。



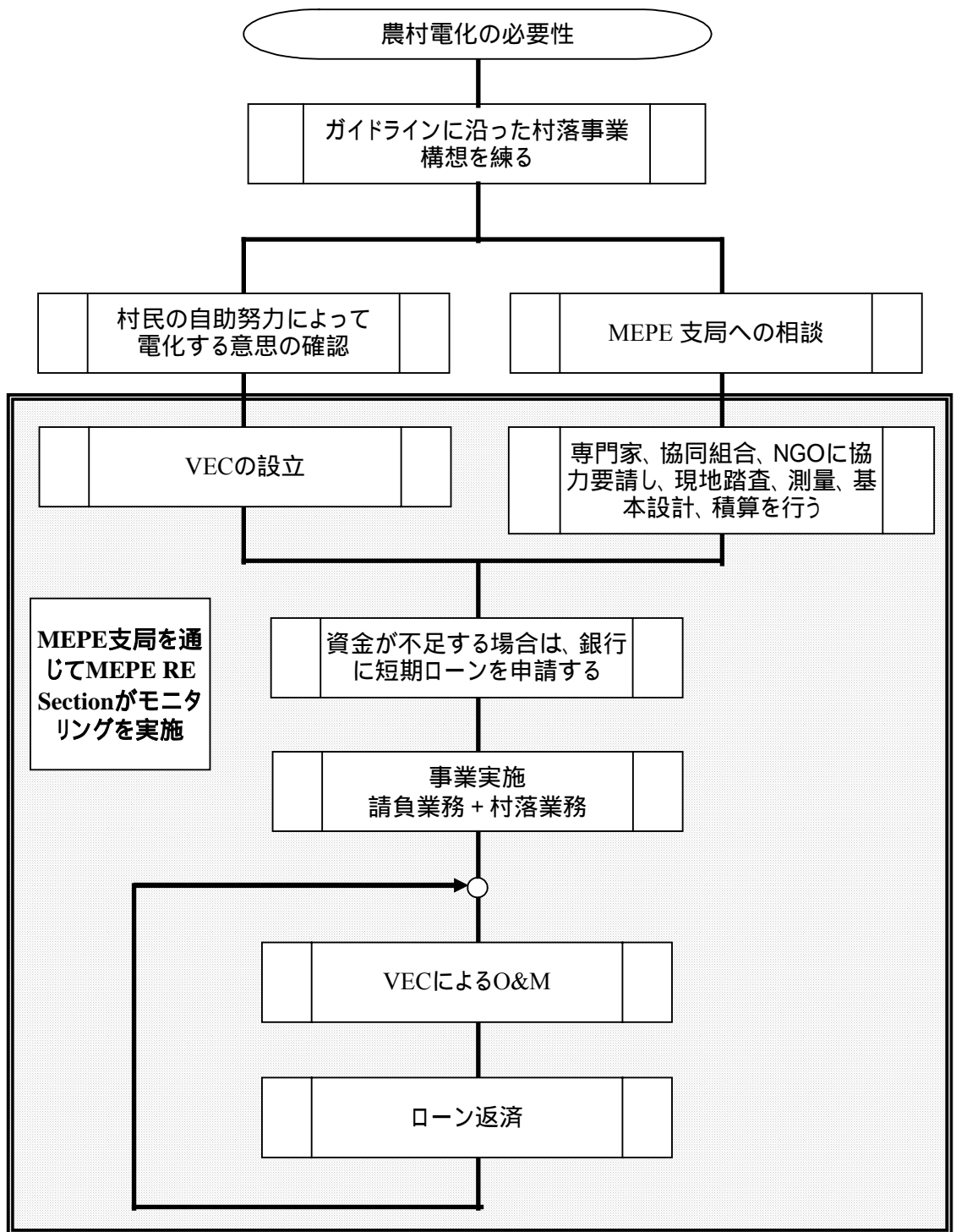
Source: JICA Study Team

図 6 村落事業に対する支援

参考までに、村落事業を実施する際に村落電化組合・協同組合 (Village Electrification Committee / Cooperative: VEC) が相談できる組織を Appendix 1-1 に記す。

1.4 村落事業の実施手順

村落事業の実施は以下の手順による。



Source: JICA Study Team

図 7 村落事業の実施手順

村落事業の実施の第1段階は、まず村落事業準備グループ(Village Scheme Preparatory Group)を発足させることである。本グループの主たる役割は、

- MEPE 支局に連絡し、ビジュアル・ガイドを入手し、組織面・技術面の支援を要請する。
- 専門家・NGOの協力を要請し、現地踏査、ポテンシャル評価、基本設計、積算などの業務を実施する。(費用は村落事業準備グループによって負担される)
- 計画及び見積りの結果、事業規模に応じてVECを設立する。

2. 調査および計画

2.1 需要および設備容量の概算

(1) 需要者および電気需要

需要者タイプごとの単位電力需要および全体におけるそれぞれの割合は表 1 のように想定する。

表 1 需要者タイプごとの単位電力需要

Users	Share or nos. per household or village	Lighting	TV	Fan/ Heater	Unit Demand	Remarks
Domestic						
Type A Household with battery lighting	20% of total households	-	-	-	0	Charge battery at commercial BCS
Type B Household	60% of total households	20W x 2			40	
Type C Household	20% of total households	20W x 3	200W x 1		260	
Type D Shops/ restaurants	1 per 100 households	40W x 5	200W x 1	200 W x 1	600	
Public						
Primary School	1 per 100 households	40W x 15	200W x 1	200 W x 1	1,000	
Monastery/Community Hall	1 per 100 households	40W x 15		200 W x 2	1,000	
Clinic	1 per village > 100 households	40W x 5		200 W x 2	600	
Streetlights	4 households per street-light	40W x 1			40	per light. 20 W lights may also be used.
Business						
Battery Charging Station (BCS)	-	-	-	-	-	BCS on commercial basis may be operated with own
Rice-mill, etc.	-	-	-	-	-	- ditto -

Source: JICA Study Team

上記の想定を元にする、村落での電化需要は 20-400 世帯の村落に対して、表 2 のように推定できる。

表 2 村落規模による電化需要

Consumer Category	Domestic				Public			
	Type A	Type B	Type C	Type D	Primary School	Monastery/Community Hall	Clinic	Street-lights
Share or nos. per household or village	20% of total households	60% of total households	20% of total households	1 per 100 households	1 per 100 households	1 per 100 households	1 per village > 100 households	4 households per street-light
Unit Demand	0W	40W	260W	600W	1,000W	1,000W	600W	40W

Assumed number of consumers

Village Size (households)	Number of Consumers by Category								Total Number of Consumers
	Type A	Type B	Type C	Type D	Primary School	Monastery/Community Hall	Clinic	Street-lights	
400	80	240	80	4	4	4	1	100	433
350	70	210	70	3	3	3	1	87	377
300	60	180	60	3	3	3	1	75	325
250	50	150	50	2	2	2	1	62	269
200	40	120	40	2	2	2	1	50	217
150	30	90	30	1	1	1	1	37	161
100	20	60	20	1	1	1	1	25	109
50	10	30	10	0	0	0	0	12	52
20	4	12	4	0	0	0	0	5	21

Assumed demand

Village Size (households)	Demand by Consumer Category in kW								Total Demand Pd kW
	Type A	Type B	Type C	Type D	Primary School	Monastery/Community Hall	Clinic	Street-lights	
400	0.00	9.60	20.80	2.40	4.00	4.00	0.60	4.00	45.40
350	0.00	8.40	18.20	1.80	3.00	3.00	0.60	3.48	38.48
300	0.00	7.20	15.60	1.80	3.00	3.00	0.60	3.00	34.20
250	0.00	6.00	13.00	1.20	2.00	2.00	0.60	2.48	27.28
200	0.00	4.80	10.40	1.20	2.00	2.00	0.60	2.00	23.00
150	0.00	3.60	7.80	0.60	1.00	1.00	0.60	1.48	16.08
100	0.00	2.40	5.20	0.60	1.00	1.00	0.60	1.00	11.80
50	0.00	1.20	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	4.28
20	0.00	0.48	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.72

Source: JICA Study Team

(2) 所要発電機出力

表 2 によって算出された需要に対して電力供給するに為に必要な発電機出力(P_r)は次式で求められる。

$$\begin{aligned}
 P_r &= P_d + w_1 + w_2 \\
 &= P_d \times (1 + 0.2 + 0.1)
 \end{aligned}$$

$$= 1.3 P_d$$

ここに、 P_r : 必要な発電機出力、kW

P_d : 電力需要、kW

w_1 : 送配電ロス (10%の電圧低下に対して P_d の 20%と仮定)

w_2 : 予備容量 (P_d の 10%とする)

表 2 の需要に対応する必要発電機出力を、上式によって算出した結果を表 3 に示す。

表 3 村落規模ごとの所要発電機出力

Village Size	Total Demand P_d	Required Generator Output $P_r = 1.3 P_d$	Selected Generator Capacity P_g
households	kW	kW	kW
400	45.40	59.02	60
350	38.48	50.02	55
300	34.20	44.46	45
250	27.28	35.46	40
200	23.00	29.90	30
150	16.08	20.90	25
100	11.80	15.34	20
50	4.28	5.56	10
20	1.72	2.24	4

Source: JICA Study Team

表 3 には所要発電機出力が 50 kW を上回るものがあるが、これらは本マニュアルでは本来対象外であり、「設計マニュアル - 小水力 > 50 kW」を参照するとともに、経験豊富な専門家や団体に協力を要請することが望ましい。

村落規模と発電機容量との関係を整理すると、次式によって近似することができる。

$$P_g = 0.15 N + 1$$

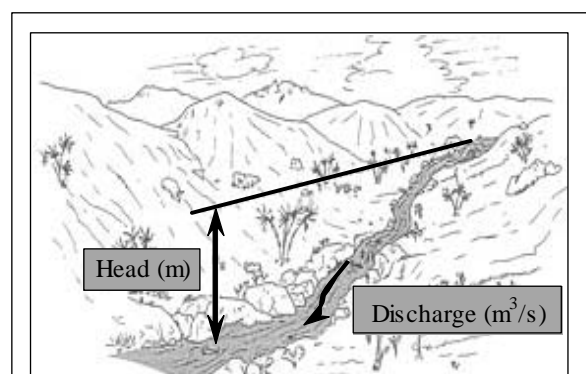
ここに、 P_g : 選定発電機容量、kW

N : 村落規模、世帯数

2.2 村落水力に必要な落差および流量

(1) 落差と流量

流量 Q (m^3/s) が落差 H (m) を落下して単位時間になす仕事量を理論水力と呼ぶ。ここに、流量とは発電に用いる水量



Source: JICA Study Team

落差と流量

であり、落差とは取水口水位と水車ノズル標高の差であると定義する。理論水力は次式によって与えられる。

$$P_o = 9.8 H Q$$

ここで、H: 総落差、m

Q: 流量、 m^3/s

出力に対して必要な出力と総落差を表4に示す。

(2) 所要発電機出力と理論水力

水力発電所では理論水力を機械エネルギーに変換し、更に電気エネルギーに変換するため、その過程でエネルギー損失があり、電力として発生するエネルギーは理論水力よりも小さい。理論水力と発電機出力との関係は次式によって与えられる。

$$\begin{aligned} P_r &= P_o \eta_G \eta_T / (1 + m) \\ &= 0.57 P_o \end{aligned}$$

ここに、 P_r : 必要発電機出力、kW

P_o : 理論水力、kW

η_G : 発電機効率 (90%と仮定)

η_T : 水車効率 (70%と仮定)

m: その他損失 (10%と仮定)

表 4 出力・流量・落差の関係

(Unit: m³/s)

Village Size (N) households	Selected Generator Capacity kW	Required Theoretical Potential kW	Required Discharge (m ³ /s) by Available Head (m)						
			30	20	15	10	7	5	3
400	60,00	105,00	0,36	0,54	0,71	1,07	1,53	2,14	3,57
350	55,00	96,25	0,33	0,49	0,65	0,98	1,40	1,96	3,27
300	45,00	78,75	0,27	0,40	0,54	0,80	1,15	1,61	2,68
250	40,00	70,00	0,24	0,36	0,48	0,71	1,02	1,43	2,38
200	30,00	52,50	0,18	0,27	0,36	0,54	0,77	1,07	1,79
150	25,00	43,75	0,15	0,22	0,30	0,45	0,64	0,89	1,49
100	20,00	35,00	0,12	0,18	0,24	0,36	0,51	0,71	1,19
50	10,00	17,50	0,06	0,09	0,12	0,18	0,26	0,36	0,60
20	4,00	7,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,10	0,14	0,24

Source: JICA Study Team

表 4 より村落事業規模（出力）に対応した落差と流量の関係を把握することができる。サイトの選定においては、落差と流量、双方の条件を満足することが要求され、後述するとおり、これらを定量的に計測する必要がある。特に、流量に関しては、乾季においても所定の出力を確保する為に、1年のうち、最低流量期間である乾季末期（5月～6月）に測定を行うべきである。

(3) 計算例

世帯数 200 の村落における、落差 10m を用いた村落水力の計算例を以下に示す。

表 5 計算例（世帯数 200、落差 10m）

No.	Description	Value	Remarks
1.	Village size (N)	200 households	to be counted
2.	Electricity demand (P _d)	23 kW	from Table 2
3.	Selected generator capacity (P _g)	30 kW	from Table 3
4.	Available head (H)	10 m	to be surveyed
5.	Required discharge (Q)	0.54 m ³ /s	from Table 4

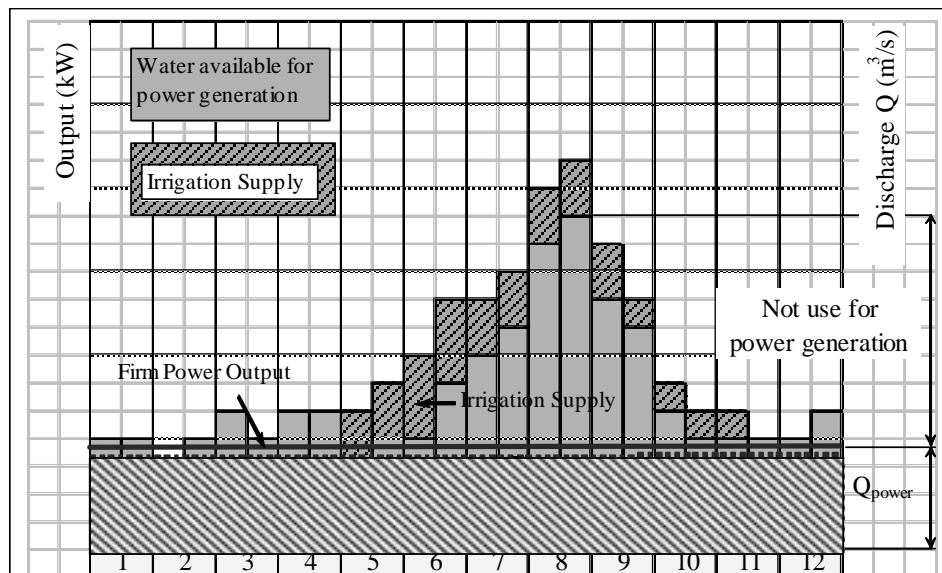
Source: JICA Study Team

もし、村落の特性、需要および必要な出力が表 1～4 と異なるようであれば、実際の調査に基づいた発電機出力の値を用い、表 4 の「Village Size（村落規模）」を無視して、「Selected Generator Capacity（発電機出力）」から落差と流量の関係を選定すると良い。

2.3 水力ポテンシャル調査

(1) 流量観測

必要な電力量を一年を通じて供給する為には、乾季の最低流量が表4を満足する必要がある。従い、流量観測は乾季、特に5月から6月に実施するべきである。また、上流に灌漑設備がある場合は灌漑期に流量の低下が想定されるので、5月～7月の灌漑期に利用できる流量を把握する必要がある。



Source: JICA Study Team

図 8 流量と出力の季節変動

他方、雨季における洪水位を記録し、最高洪水位を元に、主要構造物が洪水による影響を受けないように設計する必要がある。

1) 量水標と水位観測

村落水力の水力発電サイトが選定された後、一年を通じて水位を記録することが望ましい。水位観測は水深が一定で流れが安定している河川の直線部を選んで行う。また、洗掘や堆積によって生じる経年的な河川形状変化に影響されないように、河川縦断が上下流とも一定の勾配を持った位置を選定することが重要である。



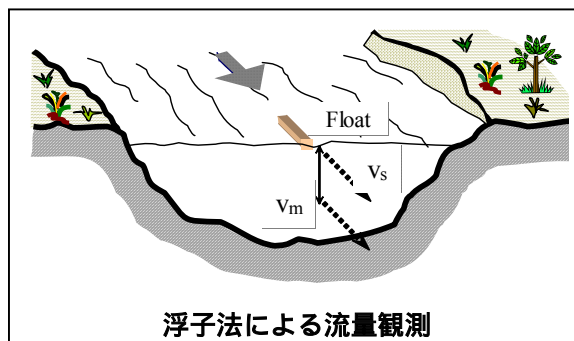
河川の直線部における観測



量水標は板の表面に 1cm 刻みに目盛りをつけ、その下端をコンクリートでしっかりと垂直に固定する。河川の流れによって流出しないように、深さ 60cm 以上差し込む必要がある。量水標の 0 (ゼロ) 点は、乾季の最低水位以下になるように設置すべきであるから、量水標の据付は乾季に行われることが望ましい。量水標の目盛り面は、観測者が容易に観測および掃除ができるような方向にしておくことも大切である。

水位観測は毎日同じ時間、例えば朝 7 時、に行われるようにする。

2) 浮子法による流量観測



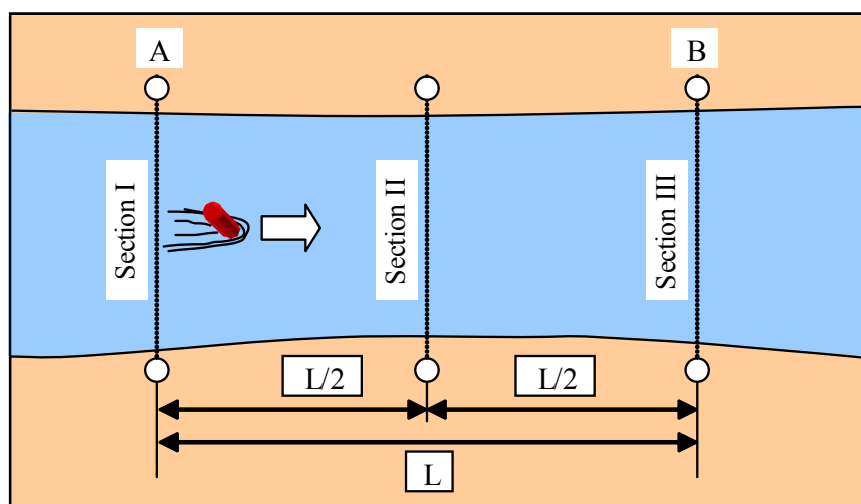
浮子法による流量観測

$$Q = c \cdot V \cdot A$$

c : discharge coefficient
 V : velocity (m/s)
 A : flow area (m²)

Source: JICA Study Team

浮子法による流量観測は以下の手順で行われる。



Source: JICA Study Team

図 9 浮子法による流量観測

- a) 浮子を投下する A 点を選定する(図 9 の断面 II は量水標付近が好ましい)
- b) A 点より L m 下流の B 点を選定する。
- c) A 点での横断面を断面 I、A 点と B 点との中間における横断面を断面 II、B 点での横断面を断面 III とする。川幅を等間隔に n 個のセクションに分割 (n>2) し、各セクションの中央の水深を計測する。各セクションの面積を計算し、合計することによって横断面の面積を算出する。断面 I,II,III それぞれについて面積を算出する。
- d) 断面 I,II,III の平均面積を次式を用いて算出する。

$$A = \frac{A_I + A_{II} + A_{III}}{3}$$

$$A_I = \frac{W_I (d_{I1} + K K + d_{In})}{n}$$

$$A_{II} = \frac{W_{II} (d_{II1} + K K + d_{II n})}{n}$$

$$A_{III} = \frac{W_{III} (d_{III1} + K K + d_{III n})}{n}$$

- e) A 点で投下された浮子が B 点に到達するまでの時間(t)をストップウォッチで計測する。
- f) 流速 (V) を次式で算定する。

$$V_i = \frac{L}{t_i}$$

ここに、 V_i : i 回目の流速、 m/s

L: A 点と B 点の距離、 m

t_i : A 点から B 点への浮子の到達時間、 秒

流速 (V_i) は 10 回測定し、その平均を平均流速(V)とする。

- g) 流量は次式によって与えられる。

$$Q = c V A$$

ここに、 Q: 流量、 m^3/s

V: 平均流速、 m/s

c: 流量係数

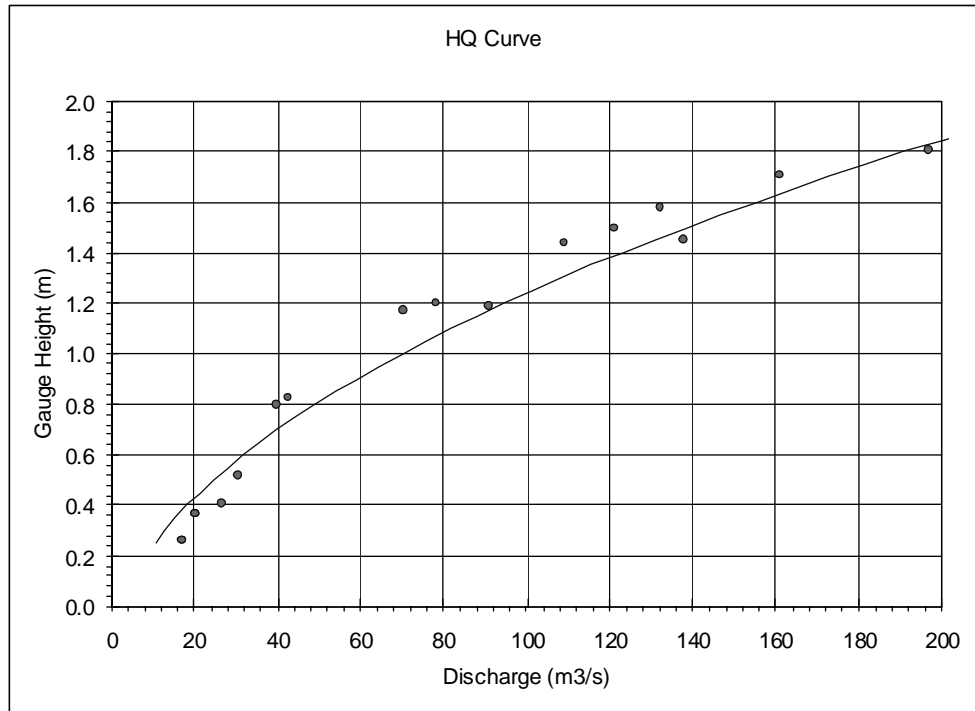
c = 0.85 コンクリート水路

0.80 河川、安定した流れ

0.65 河川、浅い水深

水位観測は断面 II 付近に量水標を設置して行われるが、洪水や土砂によって流出しないように設置場所には注意を払う必要がある。また、河床に安定した岩があれば、観測時毎に、その岩の上に量水標を置いて水位を計測することも可能である。但し、この場合は、量水標を置く場所を間違わないように明確に記しておく必要がある。

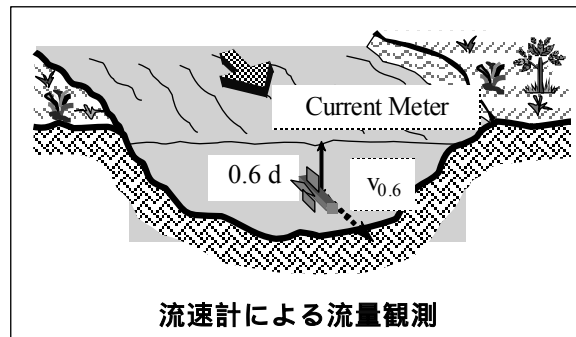
流量観測によって得られた流量と水位の関係は表にまとめ、図 10 のような水位 - 流量曲線にプロットする。



Source: JICA Study Team

図 10 水位 - 流量曲線

3) 流速計による流量観測



$$Q = V_{0.6} \cdot A$$

$V_{0.6}$: velocity at 60% depth from surface (m/s)
 A : flow area (m²)

Source: JICA Study Team

流量観測は量水標付近で行う。浮子法による流量観測と同様の手法で水深および横断面の面積を算出する。村落水力で扱う河川は水深も浅いので、流速計による流量観測は一点法を用い、60%水深（水深を d とした場合、 $0.6d$ ）で流速を測る。河川横断的には、各セクション（図9）の中心で計測し、流量を以下の式で算出する。

$$Q = Q_1 + \dots + Q_n$$

$$Q_i = \frac{W}{n} d_i V_i$$

where, Q : 流量 m^3/s

Q_i : セクション i の流量 m^3/s

W : 河川幅 m

n : セクション数 ($n > 2$)

d_i : セクション i 中央の水深 m

V_i : セクション i 中央の 60%水深での流速 m/s

流速計による流量観測を実施する場合、流速計の検定が必須である。信頼できる流速データを得るには、流速計の検定は年に 1 回は実施するべきであり、最後の検定から時間が経っているものは用いるべきではない。そのような場合、代わりに浮子法によって流速を求める。

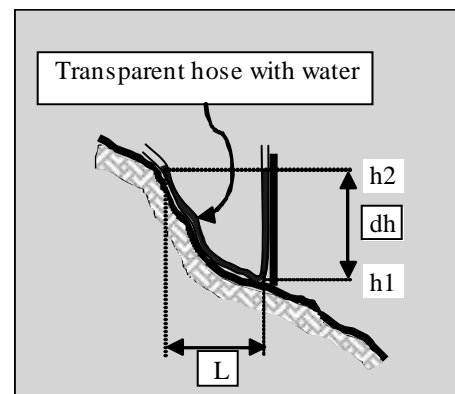
流速計の検定は灌漑局の研究所に依頼できる。

(2) 落差の測量

総落差は、取水地点における水位と水車ノズル（衝動水車の場合）の水頭差である。落差の測量は次に示す簡略した手法で行うことができる。

1) 緩斜面における落差の測量手法

図 11 に示すように水を入れたホースを設置する。ホース内の水が見えように透明なホースを使うことが望ましい。



Source: JICA Study Team

図 11 ホースによる落差測定

ホースの両端はほぼ同じ高さに保ち、垂直になるホース端は棒に固定し、水の高さを測ることによって 2 点間の高さ (dh) が得られる。傾斜 (I) が必要な場合は、2 点間の水平距離 (L) を計測することによって、高さ (dh) から次式で求められる。

$$dh = h_2 - h_1$$

$$I = \frac{dh}{L}$$

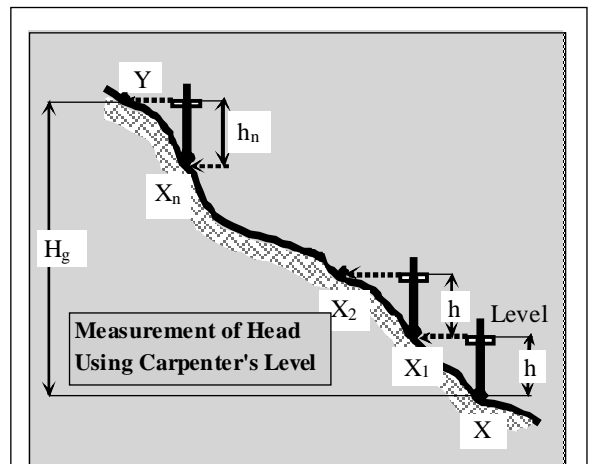
- ここに
- dh: 高さ m
 - h_1 : 棒の下端 m
 - h_2 : 棒の下端からホースの水位までの高さ m
 - I: 地表の傾斜
 - L: 2点間の水平距離 m

一度に計測するには距離 L が長すぎる場合、同様の手法を繰り返して、高さを合計する。

2) 急斜面における落差の測量手法

1 つ目の手法は、緩斜面で用いた同様の手法を繰り返すことによる。

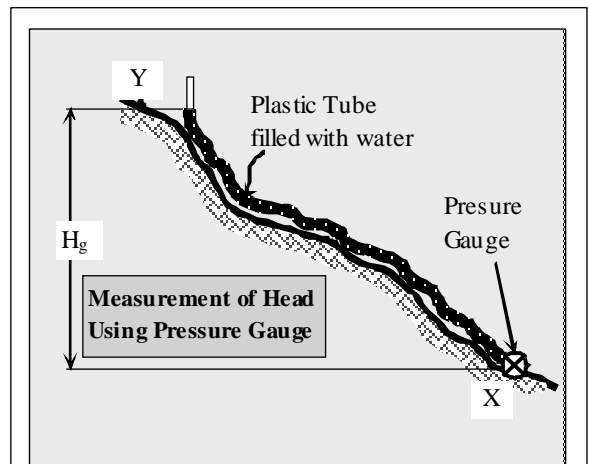
2 つ目の選択肢としては、水平レベルと板 (2" x 1" x 長さ 6 feet) を使う手法がある。高さ h_i を連続的に $i=1 \sim n$ まで計測することによって総落差が求められる。(右図参照)



Source: JICA Study Team

水平レベルによる落差の測定

3 つ目の選択肢は、右図に示すとおり圧力計を用いる手法である。



Source: JICA Study Team

圧力計による落差測定

4 つ目目の手法は、簡易デジタル距離計とハンドレベル（クリノメーターもしくはポケット・コンパス）を用いる手法である。

簡易デジタル距離計で斜辺 (L) を計測し、水平角 (θ) をハンドレベルで計測する。落差 (h) は次式で求められる。

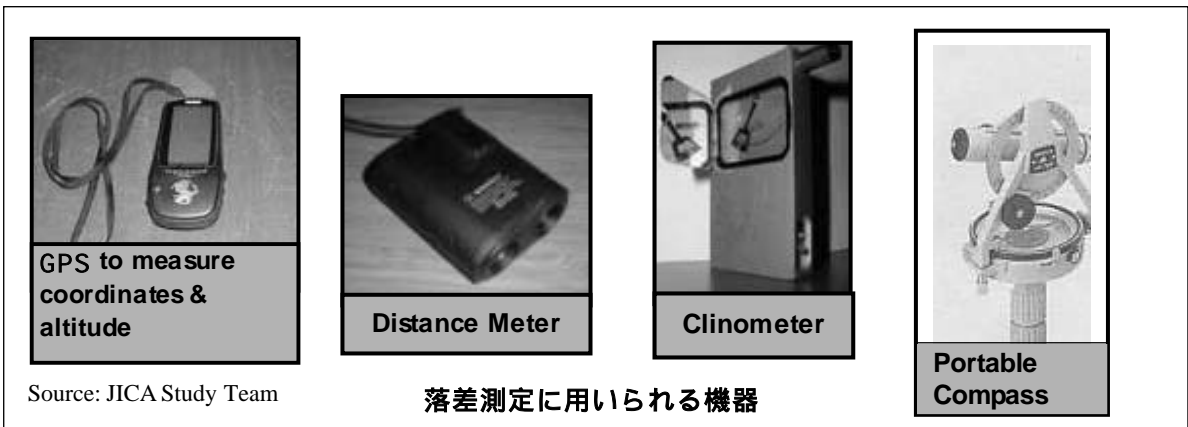
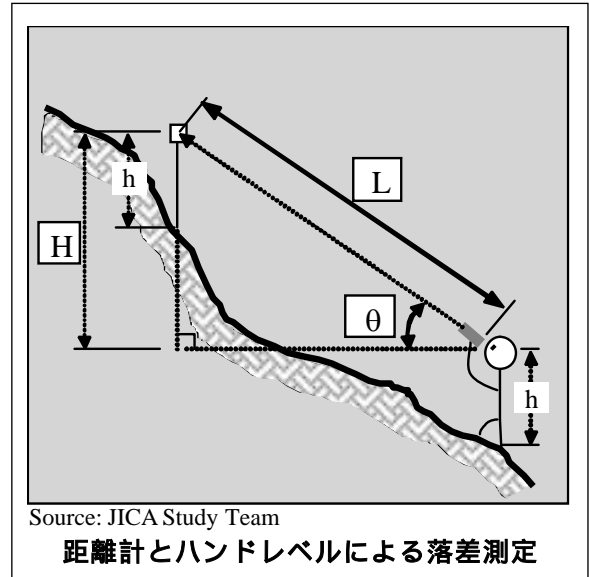
$$H = L \sin \theta$$

ここに H: 落差 m

L: 斜辺の長さ m

θ: 水平角 (°)

本手法を用いる前提条件は、測定する 2 点がお互いに視認できることである。留意点として、角度を計測する際には、測定者の目線の高さ(h)を考慮して、測定点にも人を立たせ、その人の頭の高さ(h)を目標に角度を計測するとよい。同様に、デジタル距離計によって正確な距離（斜辺）を得るには、1 フィート角の板を測定点で高さ (h)に持たせて照準を合わせることが望ましい。

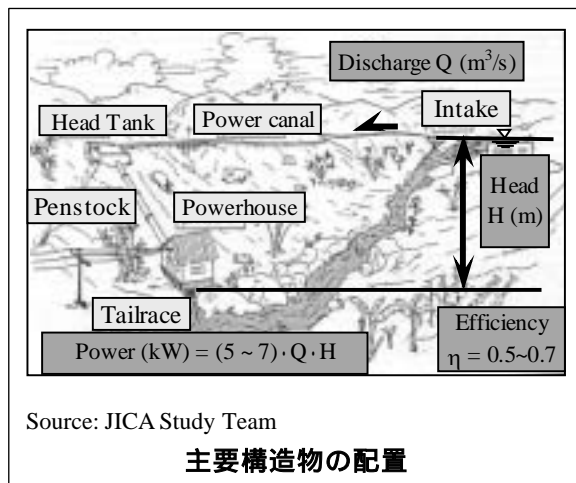


(3) 地形測量と斜面安定調査

村落水力の主要構造物の典型的な配置を下図に示す。取水口で取水された流量は、損失を最小に抑える為に緩勾配に配置された導水路に導かれ、その後、斜面に配置されたペンストックを流れ落ちる。ペンストックの製作費は高価であり、その延長を短く抑える為に、ペンストックは急斜面に配置される。

このような配置が可能な地形を選定することがまず必要である。村落水力の場合、詳細な地形は 1:50,000 の地形図からは読み取れない為、現地踏査と地形測量を実施することが非常に重要である。特に落差を正確に計測するために、正確な地形測量が必要となる。

導水路は通常、山の斜面に配置されるので、斜面が安定していることが前提となる。試掘ピット掘削によって斜面の安定と基礎地質を確認することが大切である。



3. 土木設備設計

3.1 発電設備の配置

下図に示すように、典型的な村落水力は以下の構造物によって構成される。

取水せき： 流量を導水路に導く。サイトの特性によっては不要な場合もある。

取水口： 流量を取水すると共に、洪水や浮遊物の流入を防止する。

導水路： 流量をヘッドタンクに導く。

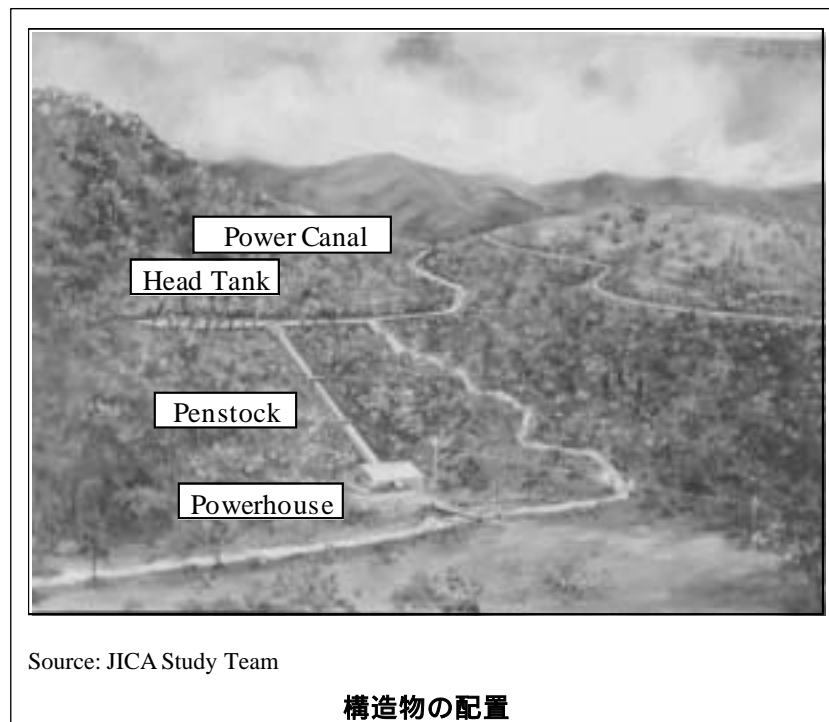
ヘッドタンク： 流量の流れが無圧状態から圧力状態に変化する接合部において、空気を巻き込むことなくスムーズに圧力流に移行させるとともに、負荷の急変を吸収する。

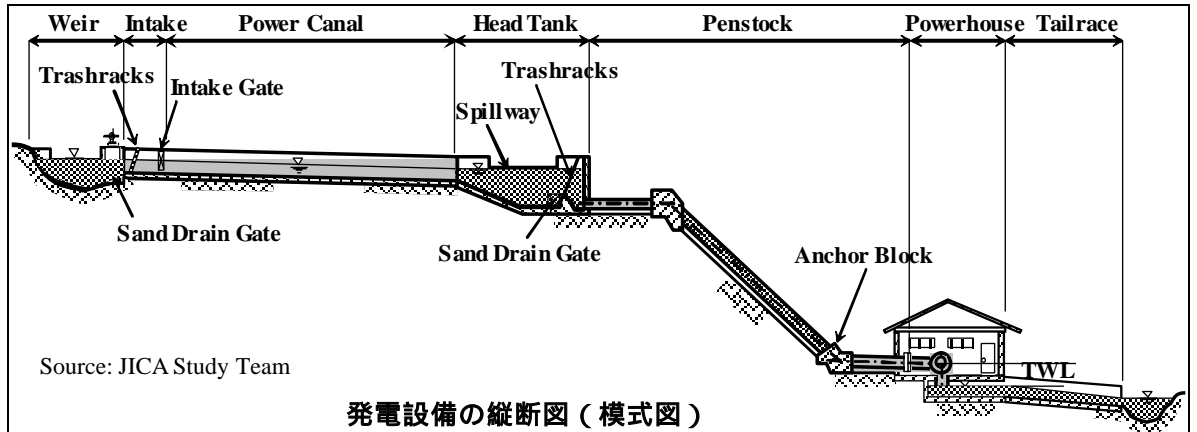
ペンストック： 圧力状態で流量を水車まで導水する。また、多少の沈砂効果も併せ持つ。

発電所： 水車・発電機を設置する。

放水路： 流量を河川に戻す。

ここで「流量」とは水の流れることである。発電設備の設計において想定されている最大流量を「設計流量」と呼ぶ。





縦断面図（上図）からも分かる通り、水車のガイドベーンを閉鎖したり、何らかの理由でペンストックが閉塞した場合においても、流量は継続的に取水口からヘッドタンクへ流入する。ヘッドタンクで余分な流量は余水吐から放流されるが、斜面の侵食を防止するために設計流量を流せる余水路を設ける必要がある。

地形上の制約などから余水路を設けられない場合は、導水路とヘッドタンクの側壁を取水位より高くすることによって、水の越流を防止し、構造物周りが侵食されることを防止できる。村落水力で望ましい方式である。この様に水路の壁を高くする場合、余水吐および余水路は省略できる。

導水路での水位を設計取水位と同等の水位に保つ為に、余水を川に還元できる非常用洪水吐（天端が取水位と同レベルの土せき堤）を取水口下流に設けることも可能である。

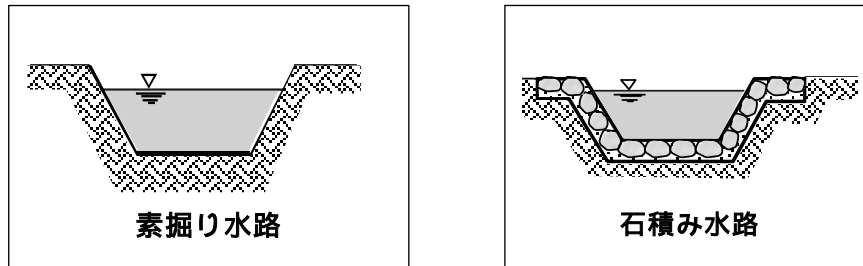
右図は、落差工を有する灌漑水路などの既設河川横断構造物を取水せきとして利用し、導水路を省略した計画の例である。



3.2 水路構造物の基本寸法

落差と設計流量の組み合わせに応じた、村落水力用の導水路、ヘッドタンク、ペンストックの基本寸法を表 7 に示す。同表の記号の定義は以下のとおりである。

- Q: 設計流量 m^3/s
- B_{PC} : 鉛直石積導水路幅 m
- H_{PC} : 水路勾配 1/1,500 での等流水深 m
- A_{HT} : ヘッドタンクの最小通水面積 m^2
- D_{PS} : ペンストック内径 m



Source: JICA Study Team

台形断面（上図）の最小通水断面（掘削コストの観点から決定される無圧水路における経済的断面）は以下の式によって与えられる。

$$B = 2 H \tan \frac{\theta}{2}$$

$$= 2 H \quad \text{鉛直側壁(長方形断面)の場合} (\theta = 90^\circ)$$

- ここに B: 水路底部の幅 m
- H: 水深 m
- θ : 水平に対する側壁の角度 °(度)

等流状態での水深は次式によって与えられる。

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{S}$$

$$= \frac{BH}{B + 2H} \quad \text{鉛直側壁をもつ長方形断面の場合}$$

- ここに V: 流速 m/s
- n: マンニングの粗度係数

- R: 径深 m
- I: 動水勾配
- A: 通水面積 m^2
- S: 潤辺 m
- B: 水路底部の幅 m
- H: 水深 m

ペンストックの内径は次の経験式によって与えられる。

$$D_{ps} = 0.52H^{1/7}(P/H)^{3/7}$$

- ここに D_{ps} : ペンストックの内径(直径) m
- Q: 設計流量 m^3/s
- H: 最大静落差 m

世帯数 200 の村落を対象とし、落差 10m の水力ポテンシャルがある場合の計算例を次に示す。

表 6 水路構造物寸法の計算例

No.	Description	Value	Remarks
1.	Q	0.27 m^3/s	
2.	B_{PC}	0.98 m	
3.	H_{PC}	0.49 m	$n = 0.018, I = 1/1,500$ とし、 $B_{PC} = 2H_{PC}$ を満たす等流水深
4.	A_{HT}	2.7 m^2	
5.	D_{ps}	0.51 m	

Source: Calculation by JICA Study Team

もし、村落の特性、需要および必要な出力が表 1～4 と異なるようであれば、実際の調査に基づいた発電機出力の値を用いて、表 7 の「Village Size (村落規模)」を無視して、「Selected Generator Capacity (発電機出力)」から水路構造物の寸法を算出すべきである。

表 7 水路構造物の基本寸法

(I = 1/1500, n= 0.018)

Village Size	Selected Generator Capacity	Required Theoretical Potential		Available Head (m)						
				households	kW	kW	30	20	15	10
400	60.00	105.00	Q (m ³ /s)	0.36	0.54	0.71	1.07	1.53	2.14	3.57
			B _{PC} (m)	1.09	1.27	1.41	1.64	1.88	2.13	2.58
			H _{PC} (m)	0.55	0.64	0.71	0.82	0.94	1.07	1.29
			A _{HT} (m ²)	1.80	2.70	3.55	5.35	7.65	10.70	17.85
			D _{PS} (m)	0.55	0.69	0.81	1.03	1.26	1.52	2.04
350	55.00	96.25	Q (m ³ /s)	0.33	0.49	0.65	0.98	1.40	1.96	3.27
			B _{PC} (m)	1.06	1.23	1.36	1.59	1.82	2.06	2.50
			H _{PC} (m)	0.53	0.62	0.68	0.80	0.91	1.03	1.25
			A _{HT} (m ²)	1.65	4.00	3.00	2.00	1.40	1.00	0.60
			D _{PS} (m)	0.53	0.66	0.78	0.99	1.21	1.47	1.97
300	45.00	78.75	Q (m ³ /s)	0.27	0.40	0.54	0.80	1.15	1.61	2.68
			B _{PC} (m)	0.98	1.14	1.27	1.48	1.69	1.91	2.32
			H _{PC} (m)	0.49	0.57	0.64	0.74	0.85	0.96	1.16
			A _{HT} (m ²)	1.35	2.00	2.70	4.00	5.75	8.05	13.40
			D _{PS} (m)	0.48	0.61	0.72	0.91	1.11	1.35	1.80
250	40.00	70.00	Q (m ³ /s)	0.24	0.36	0.48	0.71	1.02	1.43	2.38
			B _{PC} (m)	0.94	1.10	1.22	1.41	1.61	1.83	2.20
			H _{PC} (m)	0.47	0.55	0.61	0.71	0.81	0.92	1.10
			A _{HT} (m ²)	1.20	1.80	2.40	3.55	5.10	7.15	11.90
			D _{PS} (m)	0.46	0.58	0.68	0.86	1.06	1.28	1.71
200	30.00	52.50	Q (m ³ /s)	0.18	0.27	0.36	0.54	0.77	1.07	1.79
			B _{PC} (m)	0.84	0.98	1.10	1.27	1.45	1.64	1.99
			H _{PC} (m)	0.42	0.49	0.55	0.64	0.73	0.82	1.00
			A _{HT} (m ²)	0.90	1.35	1.80	2.70	3.85	5.35	8.95
			D _{PS} (m)	0.41	0.51	0.60	0.76	0.93	1.13	1.52
150	25.00	43.75	Q (m ³ /s)	0.15	0.22	0.30	0.45	0.64	0.89	1.49
			B _{PC} (m)	0.79	0.91	1.02	1.19	1.36	1.53	1.86
			H _{PC} (m)	0.40	0.46	0.51	0.60	0.68	0.77	0.93
			A _{HT} (m ²)	0.75	1.10	1.50	2.25	3.20	4.45	7.45
			D _{PS} (m)	0.38	0.47	0.56	0.70	0.86	1.05	1.40
100	20.00	35.00	Q (m ³ /s)	0.12	0.18	0.24	0.36	0.51	0.71	1.19
			B _{PC} (m)	0.72	0.84	0.94	1.09	1.25	1.41	1.71
			H _{PC} (m)	0.36	0.42	0.47	0.55	0.63	0.71	0.86
			A _{HT} (m ²)	0.60	0.90	1.20	1.80	2.55	3.55	5.95
			D _{PS} (m)	0.34	0.43	0.51	0.64	0.78	0.95	1.27
50	10.00	17.50	Q (m ³ /s)	0.06	0.09	0.12	0.18	0.26	0.36	0.60
			B _{PC} (m)	0.56	0.65	0.72	0.84	0.97	1.09	1.32
			H _{PC} (m)	0.28	0.33	0.36	0.42	0.49	0.55	0.66
			A _{HT} (m ²)	0.30	0.45	0.60	0.90	1.30	1.80	3.00
			D _{PS} (m)	0.25	0.32	0.38	0.48	0.58	0.71	0.95
20	4.00	7.00	Q (m ³ /s)	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14	0.24
			B _{PC} (m)	0.38	0.48	0.52	0.59	0.68	0.77	0.94
			H _{PC} (m)	0.19	0.24	0.26	0.30	0.34	0.39	0.47
			A _{HT} (m ²)	0.10	0.20	0.25	0.35	0.50	0.70	1.20
			D _{PS} (m)	0.17	0.22	0.25	0.32	0.39	0.48	0.64

Source: JICA Study Team

水路深さは、水深 H_{PC} (m)に余裕高を加えて決める。

ペンストックは、上の値を参照し、市場で調達可能なサイズのものを使用する。

3.3 取水口

No.	特徴	備考
1.	水理的機能 河川から設計流量を取水 土砂や浮遊物の流入を防止する 取水ゲートによって導水路に洪水が流入することを防止する	ゲート幅・高さ 最適取水地点の選定、スキマ壁の設置 十分な高さで強度を有するゲートの設置
2.	構造的必要条件 取水ゲートは洪水に対して耐久性が求められるが、取水せきは洪水期終了後に修復できる	取水地点選定例： タレウー村
3.	課題 取水口及びヘッドタンクでの設計水深の算出 ゲート幅・高さの決定基準	導水路での等流水深 取水サイトでの洪水位

例:



既設構造物の使用例
 既設の石積ダムを取水せきとして利用



自然地形の利用例
 滝のある地形を利用し、硬い河床、低洪水位、少量の堆砂を狙う。竹製の壁により浮遊物の流入を防ぐ。タレウー村。



蛇籠によるせきの例



土嚢を使用したせきの例



木製取水せき

雨季が終わるごとに、木製せきの再建造が必要になる。土嚢を使用したほうが良い。



取水口と除塵スクリーンの例

一次スクリーンが流木を防ぎ、二次スクリーンが木の葉の流入を防ぐ。



コンクリートせきの例

日本の草の根援助による事業。小水力レベルの設計と工事がなされており、この村落水力マニュアルが対象とするレベルを超える。センパイ村。

Source: APT (Aung Pyi Tun Construction Ltd.)



せきを越流する洪水

コンクリートせきが、洪水に耐えている。センパイ村。

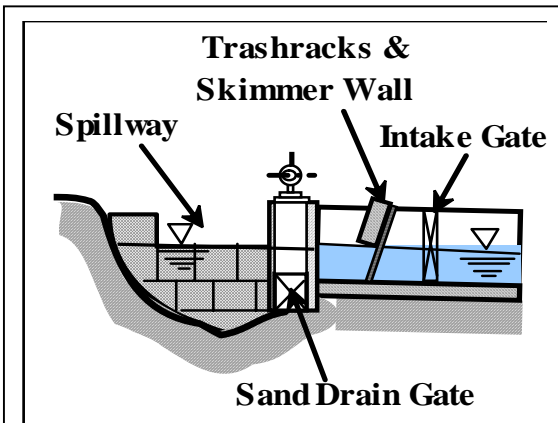


木製手動ゲート

ゲート操作直後。木製ゲートは十分機能している。タレウー村。



鉄製手動ゲート



土砂と過剰流量の流入を防ぐスキマー壁
Source: JICA Study Team



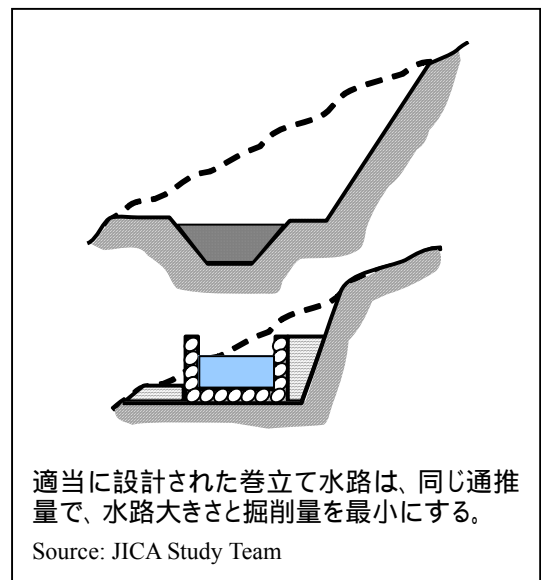
木製手動ゲート

3.4 導水路

No.	特徴	備考
1.	<p>水理的機能 越流しないようにヘッドタンクに流量を導く 余水を余水吐から放流する、もしくは越流しないように側壁を取水位以上の高さに設計する</p>	<p>動水勾配を 1:1,000 以下にし、流速を抑える。 余水吐・余水路をヘッドタンクに設置 越流の恐れがある 3 ケース： ➢ 水車ガイドベーンの開鎖 ➢ ベンストックの閉塞</p>

		<p>➤ 斜面崩壊からの土砂による水路閉塞</p>
2.	<p>水理的必要条件 水路の侵食を回避するために流速を 0.3m/s 以下に抑える 取水口下流に非常用洪水吐を設け、側壁を嵩上げすることが望ましい</p>	<p>小さい流速のほうが好ましい 余水路はヘッドタンクに設置する場合より短くできる</p>
3.	<p>課題 導水路の堆砂 水路の幅・高さを決定する基準 水路側壁の天端高を決定する基準 横越流せきの天端高と長さを決定する基準</p>	<p>導水路の堆砂は定期的に浚渫する必要がある 例を参照 素掘り水路の場合 30cm の余裕高が望ましい 越流部の天端高は取水位と同じで良い。天端長は次式で算出。 $L = \frac{Q}{1.2H^{1.5}}$ L: 越流せき長さ, m Q: 流量, m³/s H: 越流水深 = 0.10 m</p>

例:





ブロック積み水路 センパイ村

Source: APT



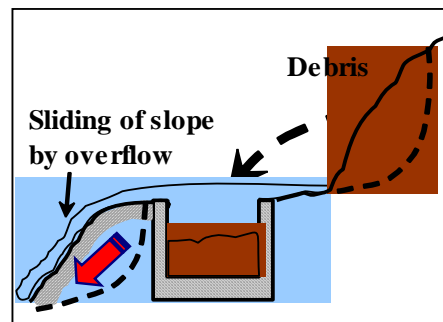
水路（建設中） タレウー村



石積み水路 ハンボ村



余水路を持つ素掘り水路

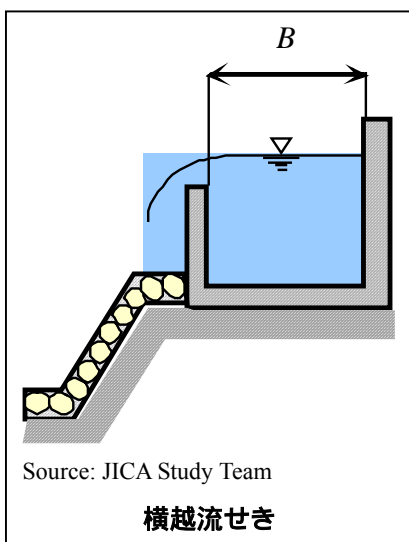


土砂が流入し通水能の減少した水路の越流により地すべりが誘発されることが、開水路最大の課題。

Source: JICA Study Team



水路越流に起因する斜面侵食による斜面崩壊例



Source: JICA Study Team

横越流せき



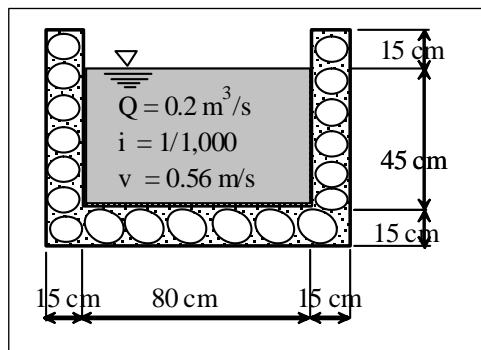
過剰流入を越流させる横越流せき ポピン



横越流せき センパイ村

導水路の設計例：

- 流量 $Q = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, 水路勾配 $i = 1/1,000$, 水路幅 $B = 0.8 \text{ m}$
粗度係数 $n = 0.020$ (石積)
- 水深 $D = 0.45 \text{ m}$, 流速 $V = 0.56 \text{ m/s}$
- 水路寸法 = 0.8 m (幅) x 0.6 m (高さ)



Source: JICA Study Team

3.5 ヘッドタンク

No.	特徴	備考
1.	<p>水理的機能</p> <p>無圧状態から圧力状態に変化する接合部において負荷の急変を吸収する</p> <p>塵や落葉などの浮遊物を除塵スクリーンで捉える</p> <p>浮遊砂を沈殿除去する（ペンストック呑口敷高はヘッドタンク敷より30cm 高くする）</p> <p>余水吐から余水を放流する</p>	<p>ペンストックの負荷変動を調整するために適切な水面積が必要</p> <p>除塵スクリーンでは流速を低く保つ</p> <p>定期的なフラッシュ・浚渫が必要</p> <p>導水路及びヘッドタンクの側壁が取水位以上に嵩上げされていれば余水吐は省略できる。</p>
2.	<p>構造的必要条件</p> <p>ヘッドタンク内の流速が 0.20 m/s 以下になるように幅を設定する</p> <p>導水路とヘッドタンクの水面積は 5 -10 x Q 以上にすべき</p> <p>排砂門および排砂路の設置が望ましい</p>	<p>ヘッドタンク幅</p> $V = \frac{Q}{BH} < 0.20 \text{ m/s}$ <p>Q: 流量, m³/s B: 幅, m H: 深さ, m</p> <p>ヘッドタンク長さ</p> $L > 3 B$
3.	<p>課題</p> <p>ヘッドタンク設計水位 (= 越流部の天端高)の決定基準</p>	<p>取水位と同じにする</p>

例:



ヘッドタンクと竹製除塵スクリーン



ヘッドタンクの排砂路



越流路とヘッドタンク



除塵スクリーンとヘッドタンク



ヘッドタンクが小さすぎ、除塵スクリーンがない。浮遊土砂が入口に詰まる可能性がある。



改善が必要である水路の除塵スクリーン



余水吐がなく、側壁の高さが不足している水路

3.6 ペンストック

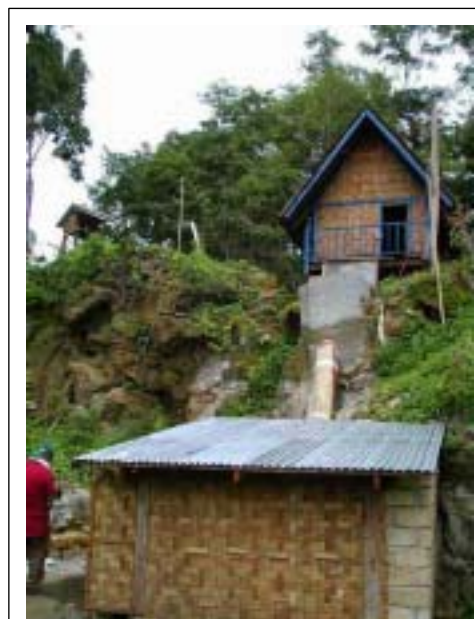
No.	特徴	備考
1.	水理的機能 圧力状態で水車に流量を導く	
2.	構造的必要条件 ペンストック内の流量は常に圧力状態にならなければならない為、空気が混入しないようにヘッドタンク水位はペンストック呑口敷高の2D以上でなければならない アンカーブロックで固定して振動を防止する	ペンストックの内径は次式によって与えられる $D_{ps} = 0.52H^{1/7} (P/H)^{3/7}$ 雨によるペンストック斜面の崩壊を防ぐ為、斜面防護及び排水溝の設置が必要
3.	課題 ペンストック湾曲部に管内水圧の合成力が作用する	「設計マニュアル 小水力」を参照

例:

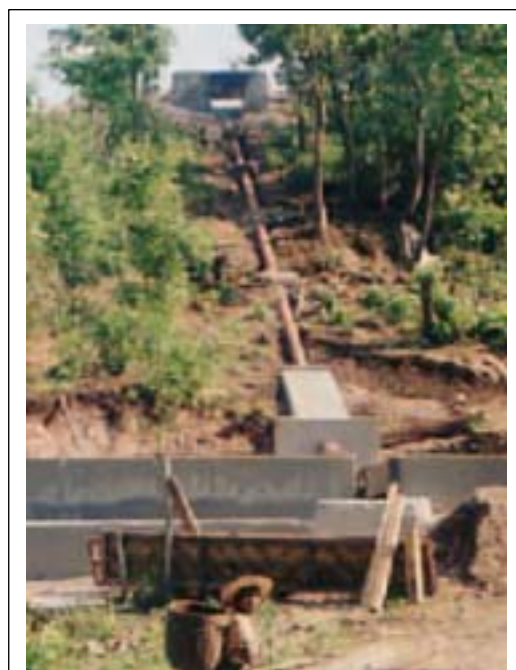


アンカーブロックによるペンストックの固定 ハンポ村、建設中

Source: RDHG (Rural Development and Hydroelectric Implementation Group)



建設後 ハンポ村



建設中の
ペンストックアンカーブロック
パンブン村

Source: RDHG



石積み斜面のペンストック
地形に合わせるため、石積みの上に
ペンストックが設置されている。
マインボン村

Source: RDHG



設置中のペンストック ソンボ村
Source: RDHG



建設中ペンストックと発電所
Source: RDHG



ペンストックと配電線 ソンボ村

Source: RDHG



石積みによるペンストックの斜面保護例 タレウ村

3.7 発電所

No.	特徴	備考
1.	機能 発電機を降雨などから保護する オペレーターの作業場	
2.	構造的必要条件 洪水によって浸水しない標高に設置する オペレータが作業できる十分な空間、電気、トイレ、廊下が必要	
3.	課題 水車中心標高の決定基準	洪水によって水没しない 標高

例:



2階建て発電所
上階はオペレータ室、下階は水車・発電機を
設置。 タレウ村



**発電所とペンストック
建設中、** センパイ村
Source: APT



発電所位置
洪水位より上の発電所位置 チャイエウ
村



ピコハイドロの発電小屋

3.8 放水路

No.	特徴	備考
1.	水理的機能 発電に用いた流量を河川に還元する	
2.	必要条件 河川の背水の影響を受けないことが望ましい	写真参照
3.	課題 放水路の幅および敷高の決定基準	放水口敷高は河川洪水位より高くする

例:



4. 水力用機械・電気機器の設計

4.1 水車、発電機、変圧器、配電線の計画

村落水力は、村落に近い地点の限られた範囲に水力発電の適地を求め、発電した電気を安定した状態で村落の需要家に供給するプロジェクトである。基本的には、一般の電気供給事業と同様であるが、事業規模が極端に小さいので、村落水力としての独特な問題点が多くあり、使用する機器の計画に当たっても、一般水力発電技術とは異なった配慮を必要とする。

その主要要因を列挙すると、次のようになる。

(1) 運転が容易なこと

村落水力は電氣的容量が小さいので、高度な技術を要する専門家による運転を望むことは難しく、素人でも容易に安全運転ができるように設計しなければならない。しかし、全自動運転システムの採用などは、建設コストの高騰だけでなく、保守技術などが難しくなって、逆効果となることが多い。

したがって、負荷の性質と、水の変動などを配慮した上で調整をしなくとも、大きな変動の起こらないような特性の機器を選択するように配慮しなければならない。

(2) 壊れにくいこと

水力発電用機器には、多くの種類があるが、採用に当たっては、機能・効率などよりも、簡易で壊れにくい点に重点をおいて選択すべきである。構造の簡易なものは、保守も容易で、もし壊れても容易に修理できるものが多い。

(3) 入手しやすいこと

水車・発電機などは、近郊のメーカーから入手したほうが、後日の補修などもし易く、有利である。

(4) 電圧変動が少ないこと

電圧変動が大きいと、電灯の明るさに変動が生じ、需要家に不安を与え、時には点灯不能を生じたり、逆に需要機器の破損などの事故を起こすことがある。

電圧変動の原因は、使用する発電機の特性によることもあるが、最も多いのは、配電線の容量不足に起因するものである。

建設コストなどの制約もあると思われるが、長く安定した事業として考え、設計計画に当たっては、将来の需要増加なども配慮して、安定した良質の電気が得られるようにしなければならない。

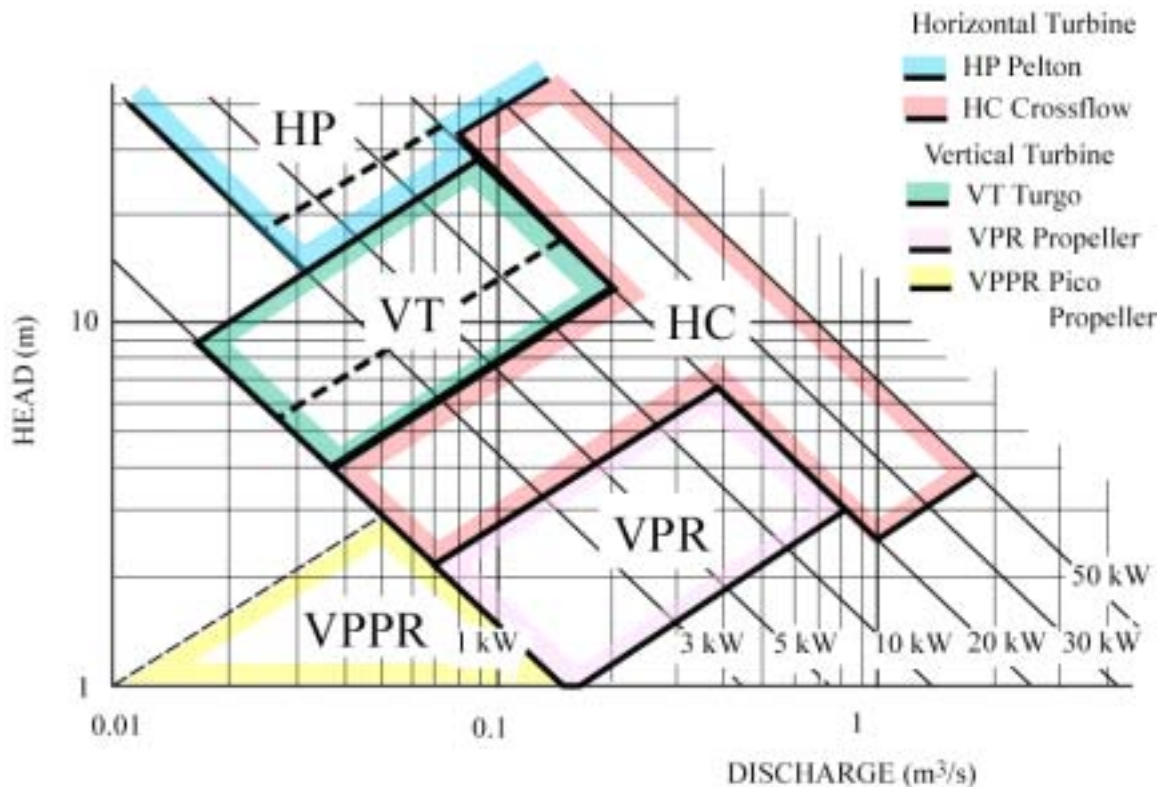
(5) 漏電・感電などの事故を起こさないこと

村落水力は、大抵、低圧(700 V 以下)のもので、運転保守に緊張感を失いがちであるが、低圧でも漏電や感電などにより重大事故となる危険性が十分あるので、取り扱いに当たっては、常に十分な用心をし、馴れによる不注意事故を生じないように努めなければならない。

4.2 水車

村落水力は、表.4 に示すように、世帯数 20～400 の村落に対し、適用される水力は落差 3 m～30 m、流量 0.03 m³/s～3.57 m³/s の範囲に分布する。

この範囲で使用する水車の種類と、その適用領域は下図の通りである。



Source: SCO (Sudo Consulting Office)

図 12 村落水力用水車の適用領域

(1) 横軸ペルトン水車

高落差用水車として、古くから普及している水車である。

構造が簡単で、堅牢なため、30 m 以上の比較的大きい出力に用いられる。

一方、製作上の難しさもあり、専門メーカーの製品となるので、価格が高く、入手も困難な場合が多いので、村落水力としてはあまり採用されない。

(2) 立軸ターゴインパルス水車

本来横軸専用として、ペルトン水車に次ぐ高落差領域に適用するターゴインパルス水車を、低落差小流量に適用できるように立軸用に改良したものである。

構造上より、振動などの心配もあり、また、ランナの製作が難しいことから、あまり普及していない。

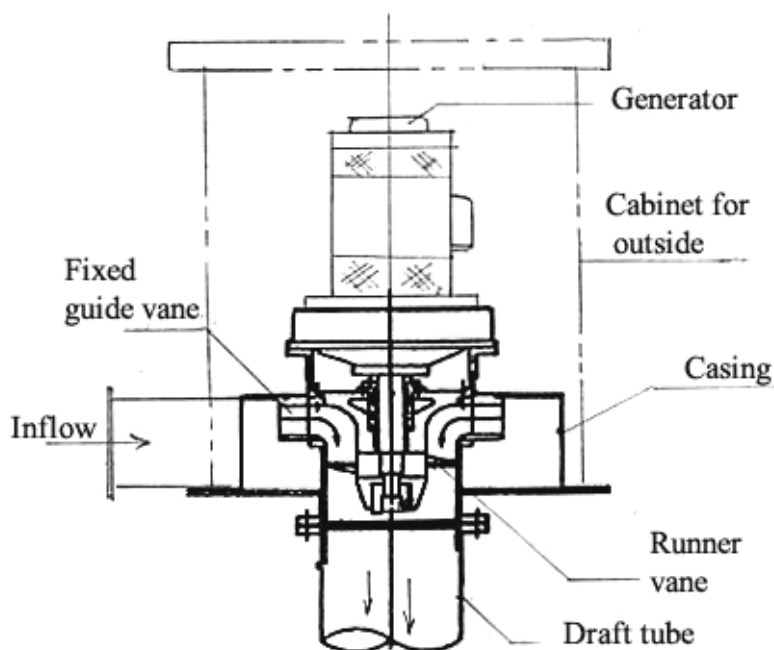
(3) 立軸プロペラ水車

低落差で比較的流量の多い地点に適用する水車で、高い回転速度を得るために、プロペラ水車を採用している。

据付面積を小さくするように立軸とし、屋外用にキャビネット内に収納し、直接屋外に設置して発電所建屋を省略する、いわゆるパッケージタイプとなっている。

キャビネット内には配電盤、AVR、ダミーロードガバナ、開閉器類などが設備されており、小さな村落用として、最適である。

製作の上では立軸発電機の入手が困難な欠点がある。



Source: JICA Study Team

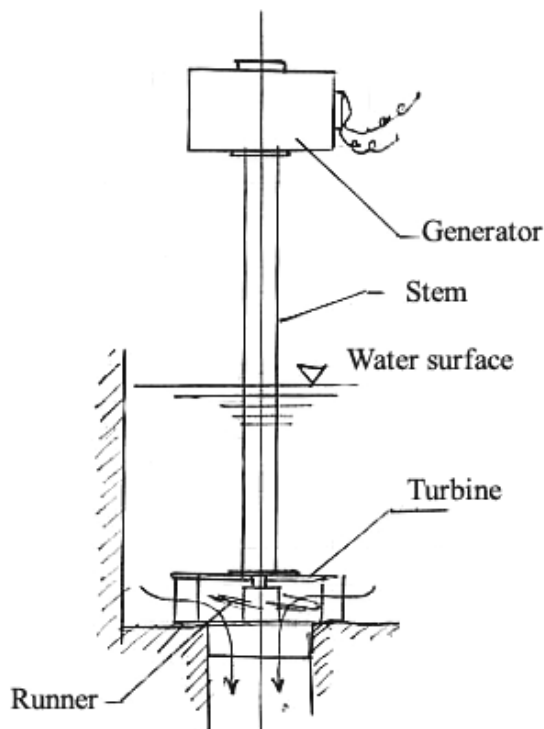


図 13 立軸プロペラ水車図

図 14 パッケージ型マイクロ水車発電機

(4) 立軸ピコ hidro

パッケージタイプをさらに簡易化したもので、下図に示すように、水車と発電機を長いステムで連結しシステム内の軸が水車ランナの回転を発電機の回転子に伝えている。



Source: JICA Study Team

図 15 ピコハイドロ

出力は 200-300 W で、個人用として、ベトナム、ラオス等に普及した。

村落用としての採用は難しいが、孤立している住宅などで、近くに小川のあるところに使用すれば便利である。

(5) クロスフロー水車

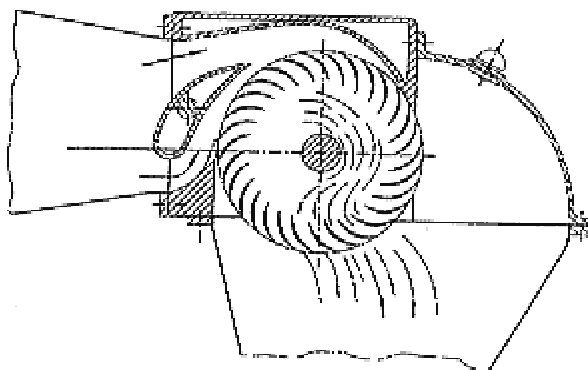


図 16 クロスフロー水車内の流れ

クロスフロー水車は、ドイツのオスバーガー社が、バンキ水車に改良を加え、ランナ径に比例して、ランナ幅を大きくし、低落差・大流量に適用できるようにしたものである。

バンキターピンは、衝動水車として開発され、比較的高落差小水量に適用していたもので、この領域の水車として代表的なペルトン水車が、ランナ周辺から入った水を、流入方向と直角の方向に放水するのに対し、この水車は、上図に示すように、周辺から入った水はランナ内部に導入され、ランナ羽根を反対方向にもう一度通過して周辺方向に放流される。

この流れから、オスバーガー社が商品名としてクロスフロー水車と命名したものである。

この水車のランナーが溶接構造で作りやすいこと、水車の構造が簡単で取り扱い易いこと、制作費が安いこと、本来バンキターピンからの変形なので、いろいろと工夫し改造し易いこと

となどから、小水力発電の開発、普及に伴って、多くのメーカーが自在な形を考えて製作し、ランナに対する水の流れが上図のような水車をすべてクロスフロー水車と呼んでいる。

本マニュアルにおいては、このような水車内の流れを持った水車を、本来のオスバーガー社のクロスフロー水車と区分する意味で、クロスフロー型水車と称する。

4.3 村落水力用水車の製作

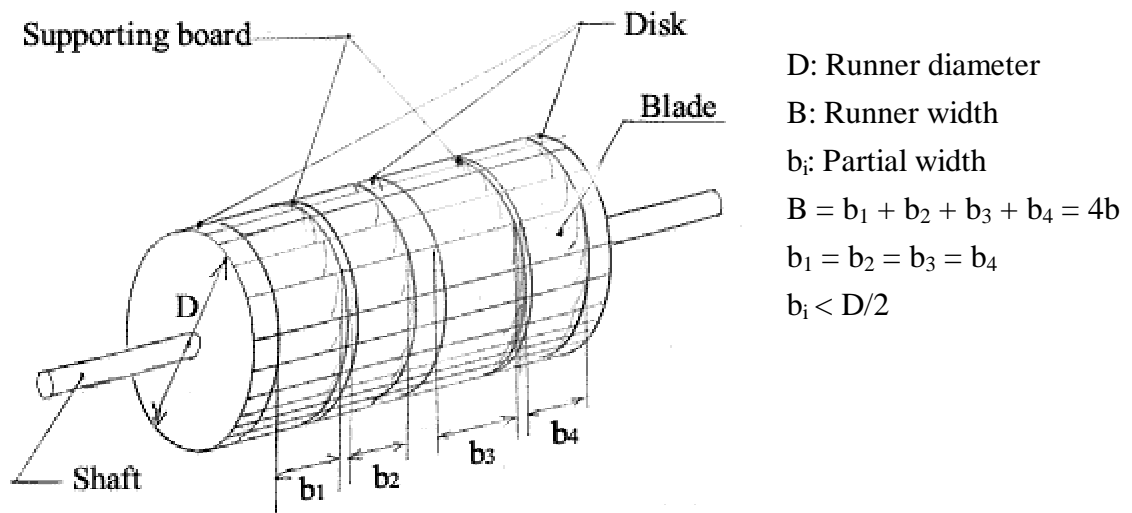
クロスフロー型水車は、製作が容易で取り扱いが簡単な点で、村落水力に最も適した水車である。

この水車は、いろいろな工夫をして特徴のある形式のものが製作されている。

(1) ランナの形と寸法

各種の形式の水車に、共通して重要なのは、ランナの形と寸法である。

ランナの寸法は、ランナの外形と幅で、図 17 のように表す。



Source: JICA Study Team

図 17 ランナの構造外観

ランナの幅が広くなるときは、ブレードの強度を保つために、補強板を入れる。補強板間の通水幅 b は、ランナの半径より小さくする。この場合ディスクは軸と各ブレードと溶接するが、補強板はブレードと溶接し、軸には溶接しない。

次の表は村落のサイズと、各落差に適用するランナの外径 D 、最適の回転速度 N 、通水有効幅 B 、および軸径 d_s を示す。

表 8 村落水力用クロスフロー型水車のランナ寸法

Village size	Generator output		Turbine Dimension by Available Head (m)						
			30	20	15	10	7	5	3
Households	kW								
400	60	D (mm)	300	300	450	700	700	1000	1000
		N (min ⁻¹)	750	610	350	185	154	90	70
		B (m)	0.35	0.66	0.66	0.78	1.33	1.56	3.40
		d _s (mmφ)	70	70	85	125	130	160	170
350	55	D (mm)	300	300	450	450	700	1000	1000
		N (min ⁻¹)	750	610	350	290	154	90	70
		B (m)	0.330	0.600	0.600	1.100	1.230	1.400	3.100
		d _s (mmφ)	60	65	65	100	120	130	155
300	45	D (mm)	300	300	450	450	700	700	1000
		N (min ⁻¹)	750	610	350	290	154	130	70
		B (m)	0.270	0.500	1.000	0.930	1.000	1.700	2.540
		d _s (mmφ)	60	65	65	100	120	130	155
250	40	D (mm)	300	300	300	450	700	700	1000
		N (min ⁻¹)	750	610	350	290	154	130	70
		B (m)	0.230	0.430	0.660	0.820	0.900	1.500	2.260
		d _s (mmφ)	60	60	65	95	115	125	150
200	30	D (mm)	300	300	300	450	450	700	1000
		N (min ⁻¹)	750	610	530	290	154	130	70
		B (m)	0.17	0.33	0.50	0.61	1.00	1.10	1.70
		d _s (mmφ)	50	55	60	85	85	110	140
150	25	D (mm)	200	300	300	450	450	700	700
		N (min ⁻¹)	1120	610	530	290	240	200	100
		B (m)	0.22	0.20	0.41	0.50	0.87	0.90	2.00
		d _s (mmφ)	45	50	55	80	80	100	120
100	20	D (mm)	200	300	300	300	450	450	700
		N (min ⁻¹)	120	610	530	430	240	200	100
		B (m)	0.18	0.16	0.33	0.62	0.70	1.16	1.6
		d _s (mmφ)	40	50	55	60	74	85	105
50	10	D (mm)	200	200	300	300	300	450	450
		N (min ⁻¹)	1120	920	530	430	360	200	160
		B (m)	0.10	0.16	0.16	0.33	0.50	0.60	1.20
		d _s (mmφ)	30	40	40	45	45	65	75
20	4	D (mm)	200	200	200	300	300	300	450
		N (min ⁻¹)	1120	920	790	430	360	300	160
		B (m)	0.05	0.07	0.10	0.10	0.18	0.30	0.52
		d _s (mmφ)	25	30	30	35	35	45	55

Source: JICA Study Team

(2) ランナブレードの寸法

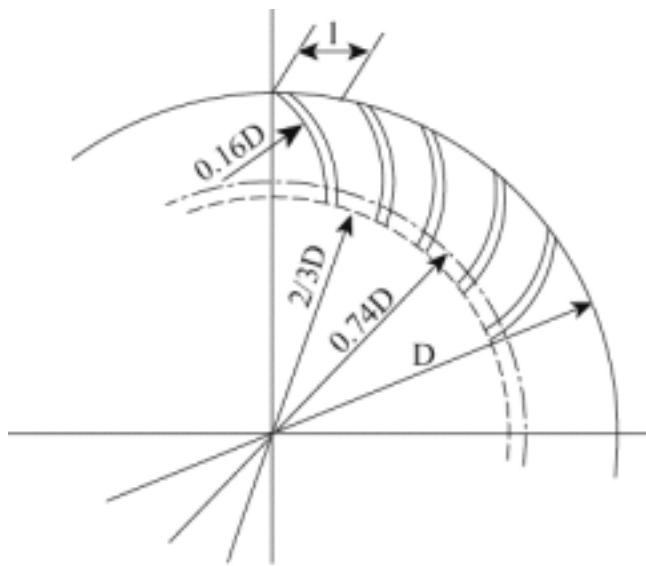


表 9 ブレード数とピッチ

Note: Not applicable for $N < 26$

Nos. of blade N	Length of pitch l
30	0.1045D
29	0.1081D
28	0.1120D
27	0.1161D
26	0.1205D

Source: SCO

図 18 ランナ羽根の寸法

ランナ外径 D を基準とする。

ブレードの曲率半径は、ブレードの内面を表す。

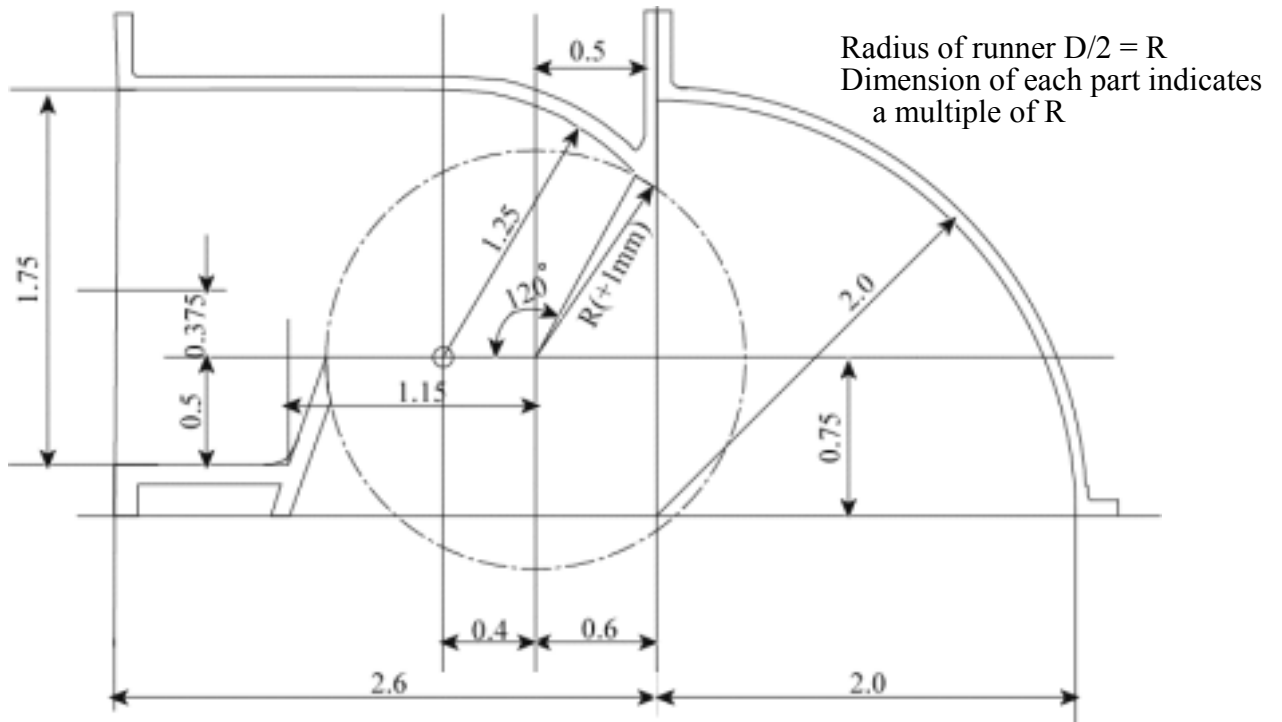
表 10 ランナ外径とブレード厚さ

Runner Diameter mm	200	300	450	700	1000
Thickness of Blade mm	3.2	4.5-6	6	9	12

Source: SCO

(3) ケーシングの寸法

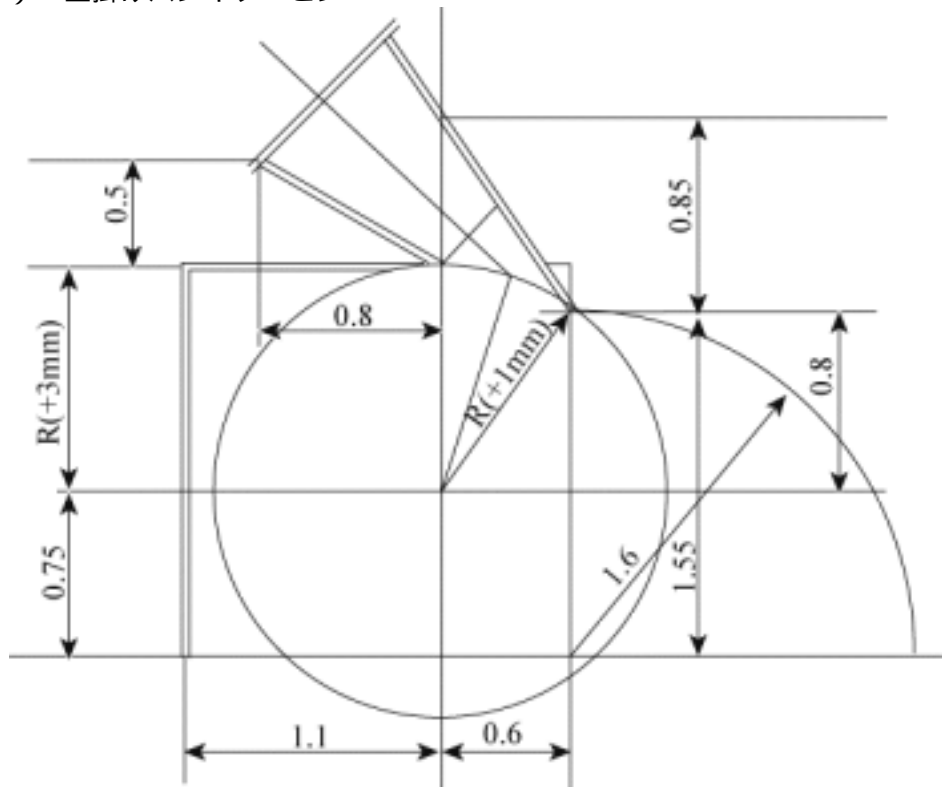
1) クロスフロー



Source: SCO

図 19 クロスフロー型水車ケーシングの寸法

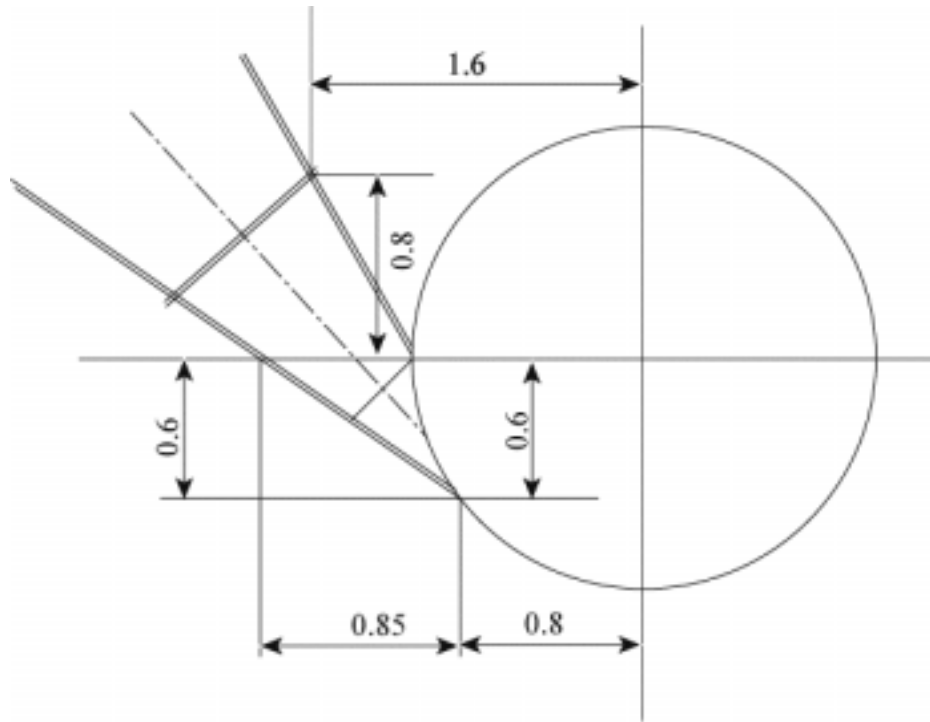
2) 上掛けバンキタービン



Source: SCO

図 20 上掛けバンキ水車ケーシングの寸法

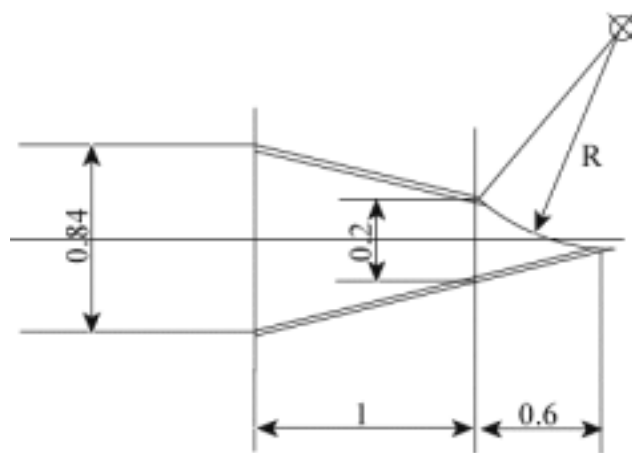
3) 下掛けバンキ水車



Source: SCO

図 21 下掛けバンキ水車のケーシング寸法

4) バンキ水車用ノズル



Source: SCO

図 22 バンキ水車用ノズル寸法

ノズルの幅はランナに合わせる。

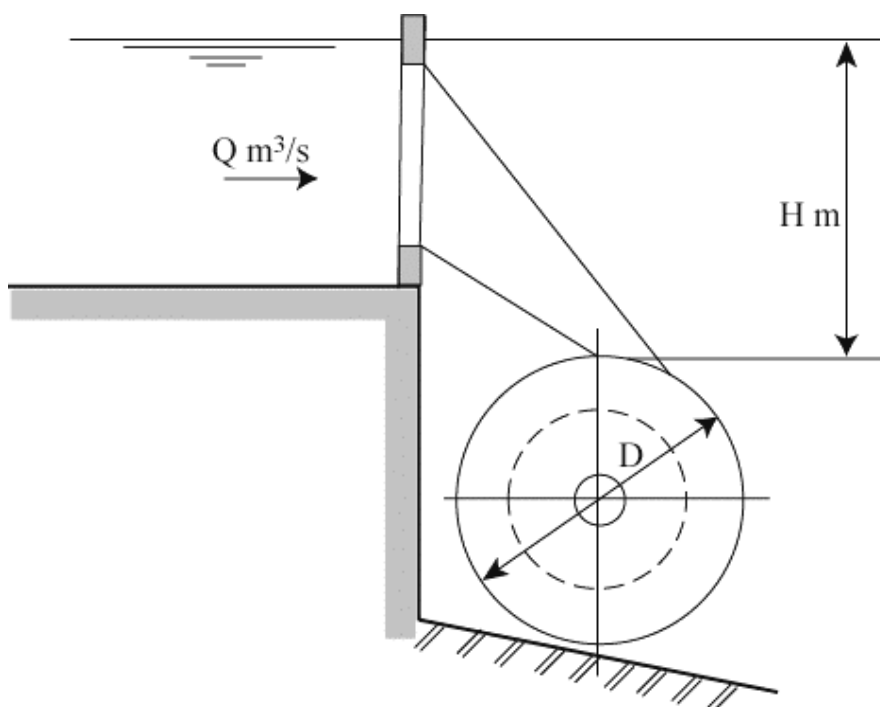
(3) クロスフロー型水車の適用例

1) クロスフロー型水車の種類

クロスフロー型水車は、図 19～21 に示す3種類に分類される。

図 19 のクロスフロー水車は最もオーソドックスなもので、効率がよく、運転も安定しているが、製作するために高度な工作機械を必要とするため、本格的な機械工場で生産される。したがって、価格も高く、入手が難しい機種になる。

図 20 は、通常の水圧管による導水方法に用いるが、水路途中の落差工など、比較的低落差のところでも図 23 の様な形で使用することができる。



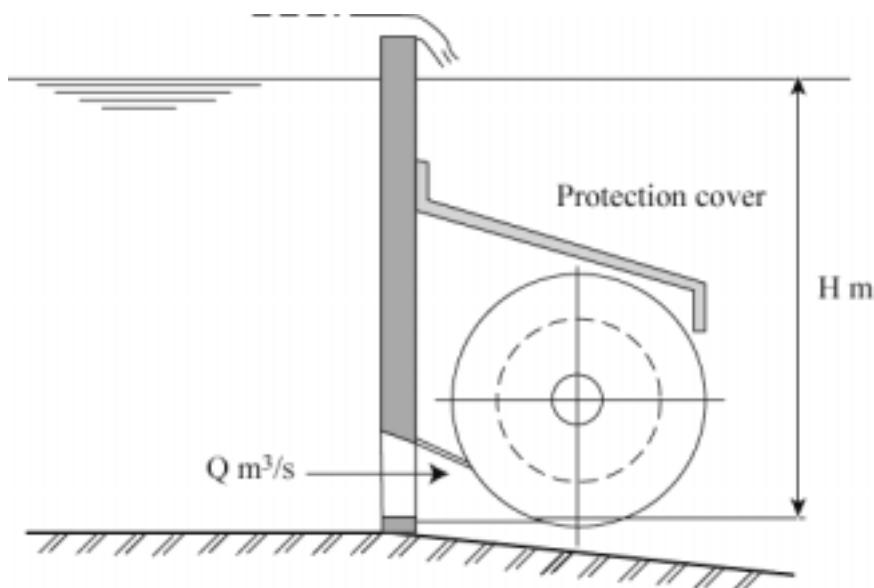
Source: JICA Study Team

図 23 クロスフロー水車の落差工などへの適用

図 21 の下掛けクロスフロー水車は、上掛けクロスフロー水車より、落差を少し大きくできるので、ランナ径の大きい場合などに使用する。

図 24 は、この水車を低落差に適用した場合の例を示す。これらの水車の設置に当たっては、放水した水がランナ下面に当たらない様、放水庭とランナの間を離すか、放水路を 1/10 以上の急勾配にする必要がある。この形式は水路の途中を仕切って設置できる。

保護カバーは、ランナから放水した水の一部が、ランナの上流側に廻ることの防止と、水路水位が集中豪雨などによって急上昇し仕切り壁上部から越流した場合のランナ保護のために設ける。



Source: JICA Study Team

図 24 下掛けクロスフロー水車の水路への適用例

2) 村落水力への適用

表 11 クロスフロー型水車の適用

Village size	Power output	30 m	20 m	15 m	10 m	7 m	5 m	3 m
400	60							
350	55							
300	45							
250	40							
200	30							
150	25							
100	20							
50	10							
20	4							

Crossflow Turbine

Down-hanged type

Up-hanged type

Source: JICA Study Team

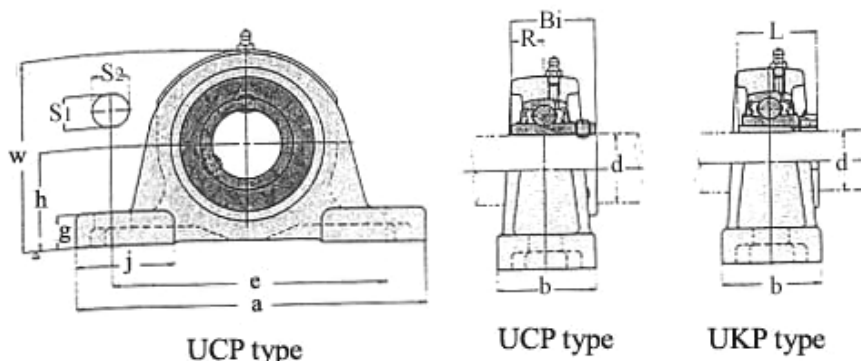
(4) 水車の付属部品

1) 軸受け

軸受は、ころがり軸受を用いる。

ころがり軸受も、村落水力用水車のもは荷重が小さいので、ボールベアリングでよく、市販のピローブロックを用いると、工作に便利である。

表 12 ピローブロック形軸受寸法表



Type	Shaft diameter	Type	Shaft diameter	Main dimension											Name of attaching bolt	
				h	a	e	b	S ₁	S ₂	g	W	j	Bi	n		L
UCP305	25	UKP305	20	45	175	132	45	17	20	16	85	55	38	15	35	M14
UCP306	30	UKP306	25	50	180	140	50	17	20	17	95	53	43	17	38	M14
UCP307	35	UKP307	30	56	210	160	56	17	25	19	107	65	48	19	43	M14
UCP308	40	UKP308	35	60	220	170	60	17	27	19	118	65	52	19	46	M14
UCP309	45	UKP309	40	67	245	190	67	20	30	21	132	75	57	22	50	M16
UCP310	50	UKP310	45	75	275	212	75	20	35	24	148	88	61	22	55	M16
UCP311	55	UKP311	50	80	310	236	80	20	38	27	158	90	66	25	59	M16
UCP312	60	UKP312	55	85	330	250	85	25	38	29	167	103	71	26	62	M20
UCP313	65	UKP313	60	90	340	260	90	25	38	32	176	110	75	30	65	M20
UCP314	70	-	-	95	360	280	90	27	40	35	186	110	78	33	-	M22
UCP315	75	UKP315	65	100	380	290	100	27	40	35	198	107	82	32	73	M22
UCP316	80	UKP316	70	103	400	300	110	27	40	35	209	120	86	34	78	M22
UCP317	85	UKP317	75	112	420	320	110	33	45	40	220	120	96	40	82	M27
UCP318	90	UKP318	80	118	320	330	110	33	45	40	234	120	96	40	86	M27
UCP319	95	UKP319	85	125	470	360	120	36	50	46	248	125	103	41	90	M30
UCP320	100	UKP320	90	140	490	380	120	36	50	46	273	140	108	42	97	M30
UCP321	105	-	-	140	490	380	120	36	50	46	278	140	112	44	-	M30
UCP322	110	UKP322	100	150	520	400	140	40	55	50	296	150	117	46	105	M33
UCP324	120	UKP324	110	160	570	450	140	40	55	50	316	160	126	51	112	M33
UCP326	130	UKP326	115	180	600	480	140	40	55	50	355	195	135	54	121	M33
UCP328	140	UKP328	125	200	620	500	140	40	55	60	393	185	145	59	131	M33

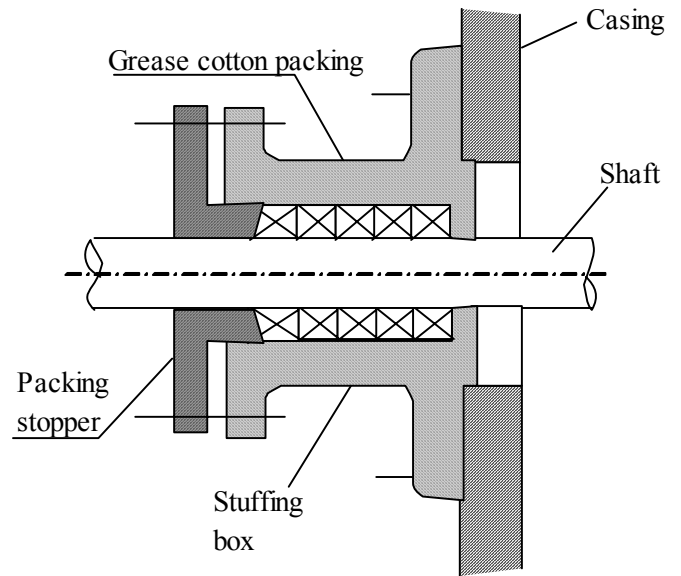
Grease nipple is 1/4-28UNF for diameter number of bearing lower than 08 and PT1/8 for higher than 09.

2) グランドパッキング

主軸・ガイドベーン軸など、ケーシングを貫通する部分の漏水を防止するため、グランドパッキングを用いる。

図 25 はグランドパッキングの構造を示すもので、パッキング材としてグリースコットンパッキングを用いる。

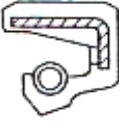

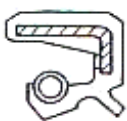
クロスフロー型水車の場合、主軸部には水圧が掛かっていないので、簡単な水切りでもよいが、ガイドベーン軸部はグランドパッキングが必要である。



Source: JICA Study Team

図 25 グランドパッキングの構造

3) オイルシール

Type	Symble	Refference figure
Outer circle rubber with spring	S	
Outer circle rubber withput spring	G	
Outer circle rubber with spring and dust cover	D	

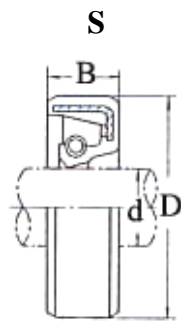
グランドパッキングに変わって、既成のオイルシールを用いると、構造が簡単で良好なシール効果が得られる。

オイルシールはメーカーによって色々な種類があるが、基本的には図 26 の 3 種類になっており、特に水車の場合、軸に S 形、ガイドベーンに G 形の使用を推奨する。

次の表はオイルシールの寸法を示す。なお、取付部の設計には詳細な基準があるので、カタログ等を熟知して行う必要がある。

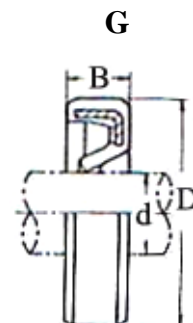
図 26 オイルシールの種類

表 13 オイルシールの寸法表



Dimension table for S-type Oil Seal

Inner diameter (called) d	Outer diameter D	Width B
20	32	8
	35	
22	35	8
	38	
24	38	8
	40	
25	38	8
	40	
28	40	8
	45	
30	42	8
	45	
32	52	11
35	55	11
38	58	11
40	62	11
42	65	12
45	68	12
48	70	12
50	72	12
55	78	12
56	78	12
60	82	12
63	85	12
65	90	13
70	95	13
75	100	13
80	105	13
85	110	13
90	115	13
95	120	13
100	125	13
105	135	14
110	140	14
112	140	14
120	150	14
125	155	14
130	160	14
140	170	14



Dimension table for G-type Oil Seal

Inner diameter (called) d	Outer diameter D	Width B
15	25	4
	30	7
16	28	4
	30	7
17	30	5
	32	8
18	30	5
	35	8
20	32	5
	35	8
22	35	5
	38	8
24	38	5
	40	8
25	38	5
	40	8
28	40	5
	45	8
30	42	5
	45	8
32	45	5
	52	11
35	48	5
	55	11
38	50	5
	58	11
40	52	5
	62	11
42	55	6
	65	12
45	60	6
	68	12
48	62	6
	70	12
50	65	6
	72	12
55	70	6
	78	12
56	70	6
	78	12
60	75	6
	82	12

4.4 発電機

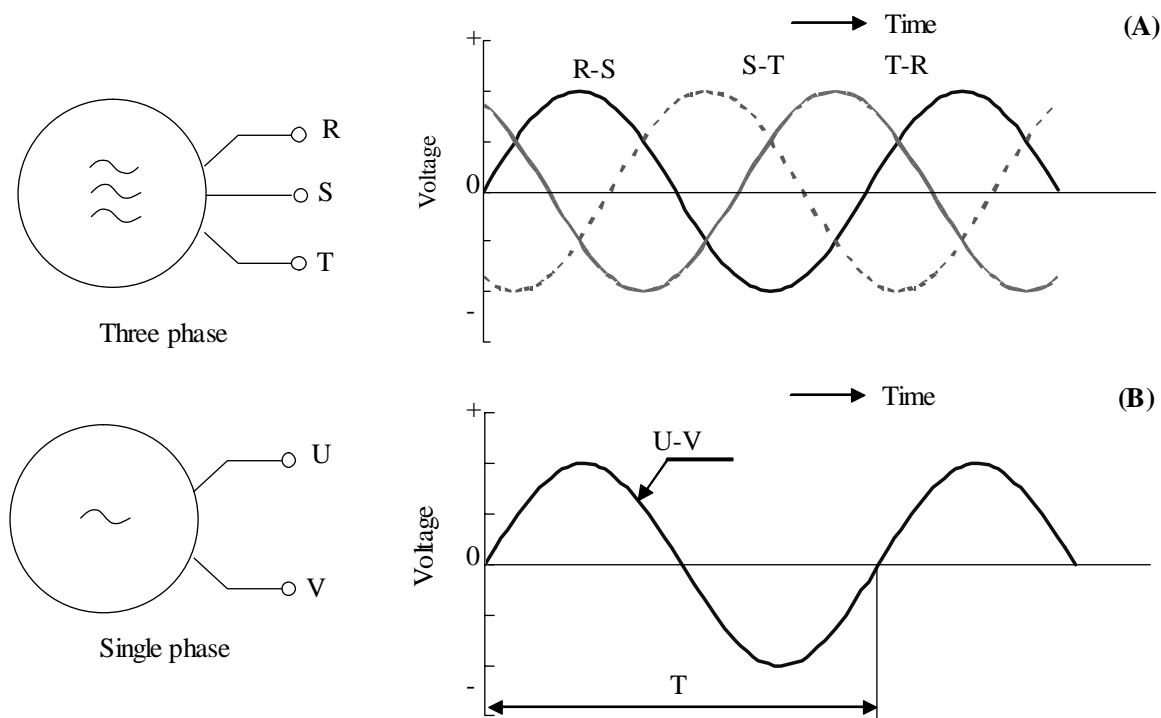
村落水力用として使用できる発電機は、交流が主で、以下の表に示す種類がある。

表 14 発電機の種類

種類	相数	容量 kVA	電圧 V	回転速度 min ⁻¹	励磁方式
同期発電機	3相	5 ~ 100	220 or 440	1,500 又は 1,000	自励
	単相	2 ~ 20	220	1,500	自励 (複巻)
誘導発電機	3相	1 ~ 10	220	1,500	コンデンサー

Source: JICA Study Team

3相同期交流発電機は、3本のコイルを磁極に対して120°ずらして配置したもので、図16のような電圧を発生する。



Source: JICA Study Team

図 27 3相交流と単相交流

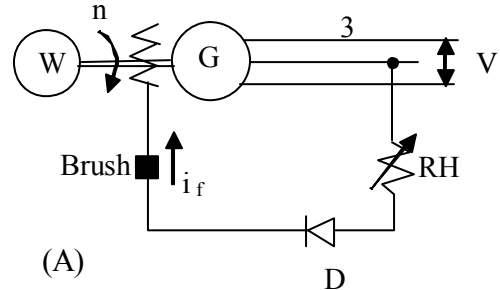
この電気は、電動機を回すのに適していることと、他機と並列する運転に適しているので、大容量の発電機には、ほとんど3相が用いられる。

村落水力では、電動機負荷の無い場合が多いので、特に3相交流発電機を必要としないが、発電機容量が大きく、やむを得ず3相交流機を使用した場合は、各相にそれぞれ負担させる負荷の平衡に注意しなければならない。

単相発電機は単純で、20 kW 以下の小容量にはもっとも適している。特に負荷が増加しても電圧降下が少なくなる様、いわゆる複巻特性(compound winding characteristics)のものは、単独運転を主とする村落水力には最適の機種である。誘導発電機は数 kW 以下の場合、誘導電動機をコンデンサー励磁して使用することがある。

(1) 3 相交流同期発電機

最も一般的な発電機で、小容量から大容量まで幅広く使用され、励磁コイルを回転し、固定子コイルから電気的な出力を取り出す、回転界磁形発電機を用いる。

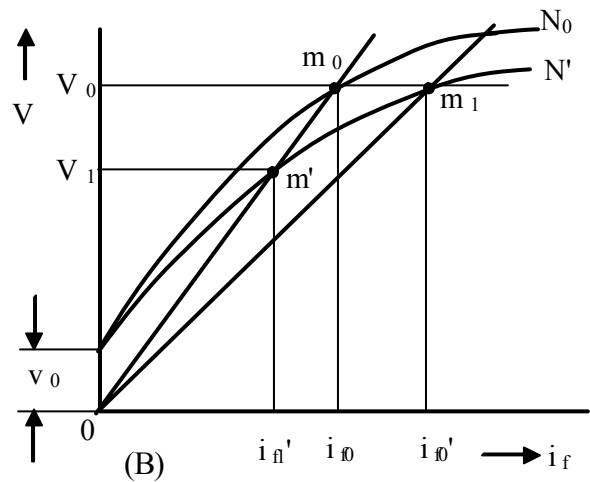


発電機の原理と特性

出力の電圧は、回転速度 n と励磁電流 i_f の積に比例する。

$$V = k n i_f \dots (1)$$

図 28 の(B)は、励磁電流と発生電圧の関係を示したもので、回転速度が一定の場合には、励磁電流だけによって電圧を変えることができる。



Source: JICA Study Team

図 28 交流発電機の原理と特性

励磁電流には直流を必要とするので、小容量の発電機では上図のように、自己の発生した交流電圧を整流器 D によって直流に変換し、回転している励磁コイルに、軸と共に廻る滑動環 (slip ring) から摺動するブラシを通じて供給している。この方式を自励式と呼んでいる。

励磁電流は励磁回路にある抵抗器 RH を調整して大きさをを変えることができる。RH の抵抗値を一定にしておくと、励磁電流 i_f は、励磁電流に加える電圧すなわち発電機電圧に比例するので、その特性は上図 (B)における 0- m_0 の直線で表すことができる。

N_0 を定格回転速度、 V_0 を定格電圧としたとき、 m_0 点を通り N_0 と記された曲線を、この発電機の無負荷飽和特性という。任意の速度 N' のとき、 N' を一定として i_f を変化したときの電圧は、 m' 、 m_1 点を通る曲線となる。

このことは前出(1)の式から明らかで、このとき定格電圧を得るためには励磁電流を i_{f0}' に増加することになり、RH の抵抗値を減らして調整する。

もしRHの抵抗を N_0 のときと同じにしていると、電圧と励磁電流の関係は $0-m_0$ の直線になるので、励磁電流が i_{f1}' まで減少し、端子電圧は V_1 まで低下する。

また、発電機電圧は、回転速度を一定に保っていても、負荷をかけると下がる特性を持っている。

電圧を自動的に安定させるよう、電圧の変化に応じて、自動的に励磁電流を変える装置があり、AVRと呼んで50kW程度以上の発電機に採用される。

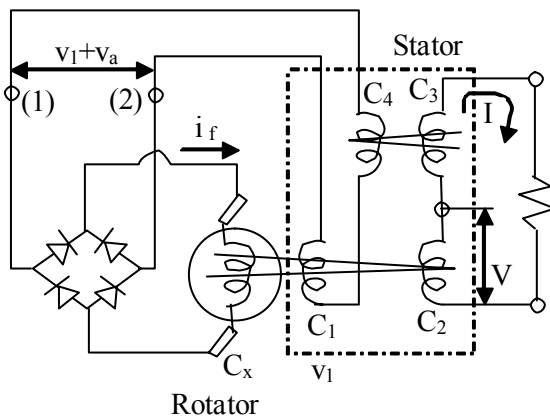
前図における v_0 は、励磁回路を開放し、励磁電流のない状態で回転子を定格回転速度で廻した時、発電機端子に表れる交流電圧で、回転数の残留磁気によって発生するものである。

この電圧は、回転の上昇に伴って、電圧を自己発生していく為に重要な値で、通常定格電圧の1-3%位がある。

購入時の試験においては、必ず測定し、できる限り大きいものを選択すべきである。

(2) 単相交流同期発電機 (複巻特性)

単相発電機も基本的には3相発電機と同様無負荷飽和特性があり、回転変動に応じて発電機端子電圧が変動し、さらに負荷をかけると、回転速度を一定に保っていても電圧が低下する。



複巻特性の発電機は左図の原理によって、負荷の変動による電圧の変動を少なくしている。回転子の励磁コイル C_x で作られる磁束は、固定子の自励用コイル C_1 と、発電コイル C_2 に同時に作用し、それぞれに電圧を発生する。固定子には発電機電流によって磁束を生ずるコイル C_3 と、 C_3 の誘導電圧を発生する C_4 の補助巻線がある。

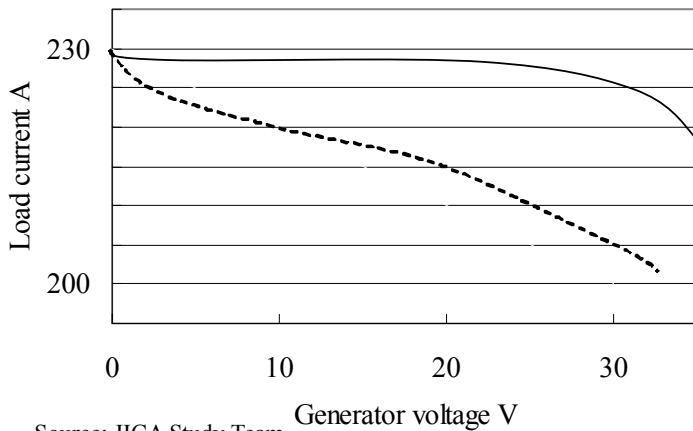
Source: JICA Study Team

図 29 複巻単相発電機

負荷電流が流れることにより、励磁回路には、 C_1 コイルで発生している電圧 v_1 と、負荷電流によって C_4 コイルに発生する電圧 v_a の合計が加えられるので、励磁電流が増加し、発電機端子電圧 V の負荷電流による電圧降下を補償する。

下図は、この特性を図示したものである。

この特性は、発電機を運転し、回転速度を一定にして負荷を増加したとき、(1)-(2)間の電圧を測定し、負荷の増加に応じてこの電圧が上昇することによって、確認することができる。

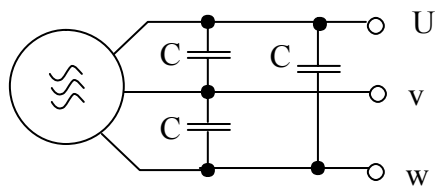


Source: JICA Study Team

図 30 複巻単相発電機の負荷特性

この発電機を使用すると、運転時に電圧を一定に保つようにすれば回転速度も一定となるので、単独送電に適しており、村落水力用として推奨する。

(3) 誘導発電機



Source: JICA Study Team

誘導電動機を下図のように端子にコンデンサを接続し、軸を原動機で回転させると、端子間に電圧を発生し発電機として使用することができる。

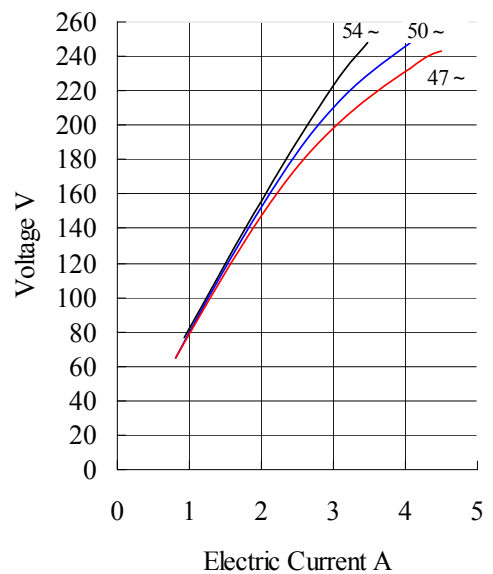
図 31 コンデンサ励磁方式

接続するコンデンサの容量は、電動機を無負荷で運転したとき、流入する電流から次式によって求める。

$$C = \frac{i}{\omega E}$$

$$\omega = 2\pi f$$

i: 無負荷流入電流 A
f: 周波数 Hz
E: 印加電圧 V
C: コンデンサ容量 F (Farad)



Source: JICA Study Team

図 32 無負荷電圧と電流の例

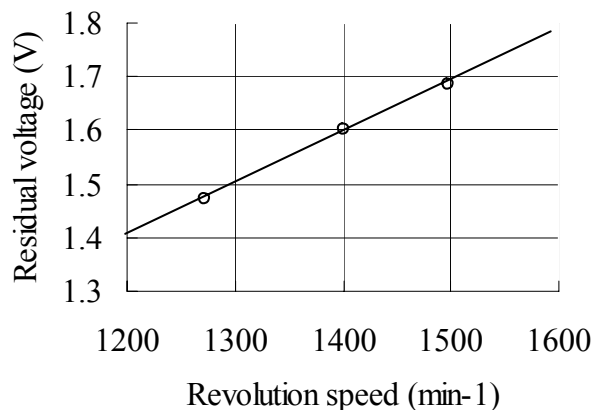
上図は、2.5 kW の3相かご形の誘導電動機の無負荷電圧・電流特性の例を示す。

この電動機を 230 V、50 Hz で発電機として使用する場合、端子間に接続するコンデンサの容量を次のように求めることができる。

$$E = 230 \text{ V}, \quad i = 3.5 \text{ A}$$

$$C = \frac{3.5}{2\pi \times 50 \times 230} = 0.00004986(F) \approx 50 \mu F$$

誘導発電機の電圧誘起も、同期発電機と同様、残留電圧による。下図は前記 2.5 kW 誘導電動機の例を示す。



誘導電動機の残留電圧は、同期発電機に比較すると小さく、また運転中の過負荷や短絡などの影響で残留磁気が消滅することがあるので、起動時に電圧を発生しない場合は、残留磁気を調べる必要がある。

Source: JICA Study Team

図 33 回転速度と残留電圧

この発電機の特性は分巻発電機の特性に似ているが、特性の制御が難しいので、できる限り負荷変動の少ないところに使用するが、村落水力 20 戸位の場合には、電動機とコンデンサを安価に入手し実用化できる。

4.5 出力伝達機構

村落水力用発電機の回転速度がほとんど $1,500 \text{ min}^{-1}$ 一種類であるのに対し、水車は最低 70 min^{-1} から 1120 min^{-1} まで多数の種類があるので、水車出力を発電機に伝達するには、増速する必要がある。

(1) 歯車増速機

最も理想的な増速機で、30 kW 程度以上に使用される。増速歯車列を油圧ケーシングに納め、潤滑と冷却を行っており、伝達効率は 98% くらいが得られる。

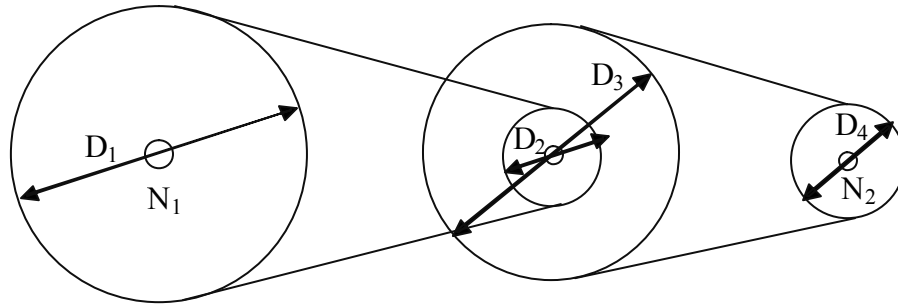
水車と増速機、増速機と発電機の間は、フランジカップリングを用いるが、各々の機器が転がり軸受を使用しているため、センタリングが難しい。このため軸受に無理を生じないように、フレキシブルカップリングを使用する。

(2) ベルト伝達

ベルト伝達は、増速比を選びやすいので、小容量発電機には最も多く使用される。ベルトは、平ベルト、Vベルト、溝付ベルトなど多くの種類があるが、一般にはVベルトが用いられている。

Vベルトで増速できるのは1段で4:1までであり、それ以上の増速は次のようにして求める。

(D₂ and D₃ are fixed to the shaft)



$$N_2 = N_1 \times \frac{D_1}{D_2} \times \frac{D_3}{D_4} \qquad \text{Pulley ratio} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1 \times D_3}{D_2 \times D_4}$$

Source: JICA Study Team

図 34 Vベルトによる増速

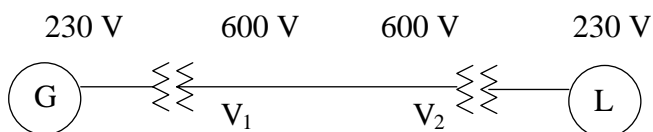
Vベルトには通常、A, B, Cの3種類があり、Aが一番細いが、小出力用には最も多く使用されている。

伝達力が大きくなった場合は、A形を複数本用いるかB形を用いるが、一般には前者の方法を使用する。

ベルト伝達は、水車と発電機を結ぶ狭い範囲で行うので、保護カバーを設ける必要がある。

また、低速度の水車の場合、ベルト伝達では主軸に対して回転トルクの他に曲げモーメントが掛かるので、通常、回転力だけで設計する軸より太くする。

4.6 送電線



Source: JICA Study Team

図 35 送電線の電圧降下



送電線の建設で重要なのは、電線サイズと電圧降下の関係である。

電圧降下は、電線サイズが大きいくほど少ないが、サイズの大きい電線は価格が高く、支持物(電柱など)も高価となるので、できる限り細い電線で間に合う送電電圧に昇圧する場合が多い。電線のサイズと送電距離の関係は次式で表すことができる。

送電端電圧	V_1	Volt
受電端電圧	V_2	Volt
電圧低下率	$V = (V_1 - V_2) / V_1 \times 2 = 15\%$	
送電電力	P	kW
負荷力率	\cos	$= 0.6$
送電距離	L	m
ACSR のサイズ	a	mm^2
ACSR の抵抗定数	$C = a r = 29.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{m}$	
単相	$L = 18 \times 10^{-4} a V_1^2 / P$	$a = 557 PL / V_1^2$
3相	$L = 62 \times 10^{-4} a V_1^2 / P$	$a = 161 PL / V_1^2$

Source: JICA Study Team

以下の表は、ACSR のサイズと送電距離の関係を示す。

表 15 ACSR 線のサイズと単相 400V 送電線の送電距離

Village size	Generator output	Transmission distance at transmission voltage 400 V m, () shows at 230 V						
		Size of ACSR wire (mm ²)						
households	kW	16	25	35	50	70	90	100
400	60	50 (25)	120 (40)	170 (55)	240 (80)	340 (110)	430 (140)	480 (160)
530	55	28 (28)	130 (43)	180 (60)	260 (85)	370 (120)	470 (150)	520 (170)
600	45	100 (33)	160 (53)	220 (74)	320 (105)	450 (150)	570 (190)	640 (210)
250	40	115 (38)	180 (60)	250 (83)	360 (120)	500 (167)	540 (214)	720 (240)
200	30	150 (50)	240 (80)	330 (110)	480 (160)	670 (220)	860 (285)	950 (320)
150	25	180 (60)	290 (95)	400 (130)	570 (190)	800 (270)	1,030 (340)	1,150 (380)
100	20	230 (75)	360 (120)	500 (170)	720 (240)	1,000 (330)	1,290 (430)	1,440 (480)
50	10	460 (150)	720 (240)	1,000 (330)	1,440 (480)	2,010 (670)	2,580 (860)	2,870 (950)
20	4	1,150 (380)	1,800 (600)	2,500 (830)	3,600 (1200)	5,000 (1700)	6,460 (2100)	7,180 (2400)

Source: JICA Study Team

表 16 ACSR 線のサイズと単相 600V 送電線の送電距離

Village size	Generator output	Transmission distance at transmission voltage 600 V m, () shows at 230 V						
		Size of ACSR wire (mm ²)						
households	kW	16	25	35	50	70	90	100
400	60	170 (25)	270 (40)	380 (55)	540 (80)	750 (110)	970 (140)	1,000 (160)
530	55	190 (28)	290 (43)	410 (60)	590 (85)	820 (120)	1,060 (150)	1,180 (170)
600	45	230 (33)	360 (53)	500 (74)	720 (105)	1,000 (150)	1,290 (190)	1,430 (210)
250	40	260 (38)	400 (60)	570 (83)	900 (120)	1,130 (167)	1,450 (214)	1,600 (240)
200	30	340 (50)	540 (80)	750 (110)	1,070 (160)	1,500 (220)	1,940 (285)	2,150 (320)
150	25	410 (60)	650 (95)	900 (130)	1,290 (190)	1,800 (270)	2,300 (340)	2,580 (380)
100	20	500 (75)	800 (120)	1,130 (170)	1,610 (240)	2,260 (330)	2,900 (430)	3,200 (480)
50	10	1,000 (150)	1,620 (240)	2,260 (330)	3,230 (480)	4,500 (670)	5,800 (860)	6,460 (950)
20	4	2,600 (380)	4,000 (600)	5,650 (830)	8,070 (1200)	11,300 (1700)	14,500 (2100)	16,150 (2400)

Source: JICA Study Team

表 17 ACSR 線のサイズと 3 相 600V 送電線の送電距離

Village size	Generator output	Transmission distance at transmission voltage 600 V m, () shows at 230 V						
		Size of ACSR wire (mm ²)						
households	kW	16	25	35	50	70	90	100
400	60	600 (88)	900 (130)	1,300 (190)	1,900 (280)	2,600 (380)	3,350 (490)	3,700 (540)
530	55	650 (95)	1,000 (150)	1,400 (200)	2,000 (300)	2,800 (410)	3,650 (540)	4,050 (600)
600	45	80 (120)	1,250 (180)	1,700 (250)	2,500 (370)	3,500 (510)	4,450 (650)	5,000 (730)
250	40	900 (130)	1,400 (200)	2,000 (300)	2,800 (410)	3,900 (570)	5,000 (730)	5,600 (820)
200	30	1,200 (180)	1,800 (280)	2,600 (380)	3,700 (540)	5,200 (760)	6,700 (980)	7,450 (1100)
150	25	1,400 (200)	2,200 (320)	3,100 (460)	4,500 (660)	6,250 (920)	8,050 (1200)	8,900 (1300)
100	20	1,800 (260)	2,800 (410)	3,900 (570)	5,600 (820)	7,800 (1150)	10,000 (1470)	11,200 (1650)

Source: JICA Study Team

Pictures of Erecting Transmission and Distribution Lines



Source: RDHG



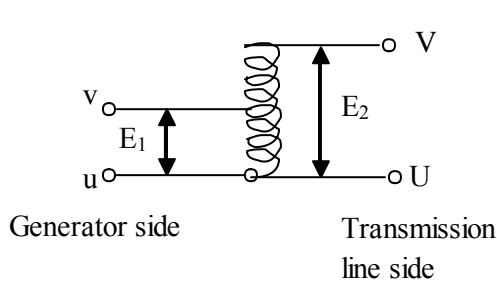
Source: RDHG

4.7 昇圧

発電機電圧の昇圧は、単巻変圧器を用いて、次のように行う。

(1) 単相

1) V 結線



$$E_2 = \alpha E_1$$

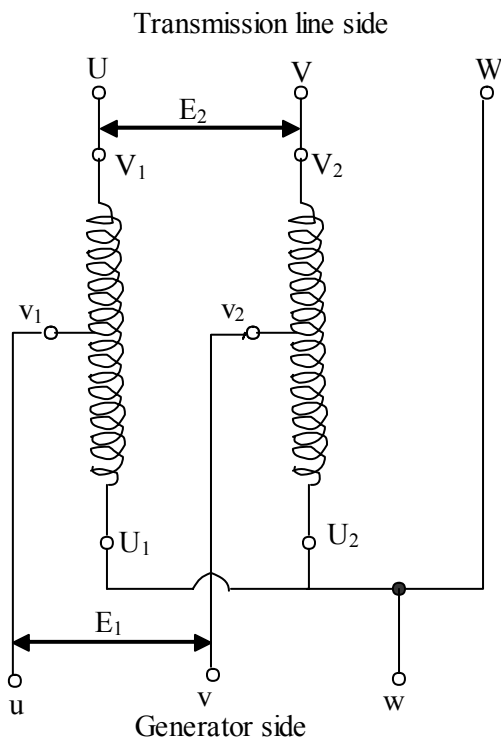
: 変圧比

Source: JICA Study Team

図36 V 結線

(2) 3 相

1) 400/230 V の V 結線



左図にある V 結線により、市場で購入できる単相変圧器を 2 セット用いて、1 セットの 3 相変圧器を作ることができる。

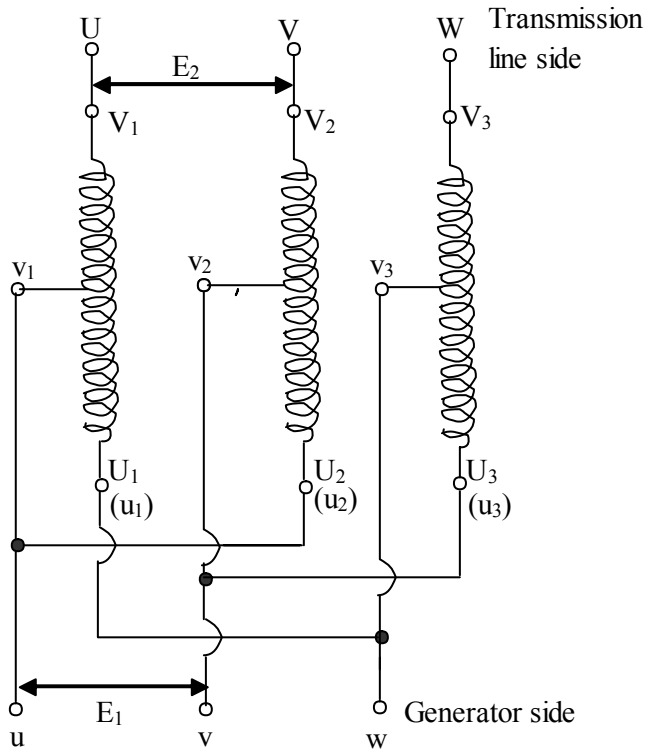
$$E_2 = E_1$$

: 変圧比

Source: JICA Study Team

図.37..400/230.Vの.V結線

2) 600/230 V 辺延び 結線



左図は 3 セットの単相 400/230 V 変圧器を用いた 3 相 600/230 V 変圧器を表す。

$$E_2 = \sqrt{3\alpha^2 - 3\alpha + 1} \times E$$

例:

$$= 2:1 = 2 \text{ の場合}$$

$$E_2 = \sqrt{3 \times 2 \times 2 - 3 \times 2 + 1} \times E_1$$

$$= \sqrt{7} E_1 = 2.64 E_1$$

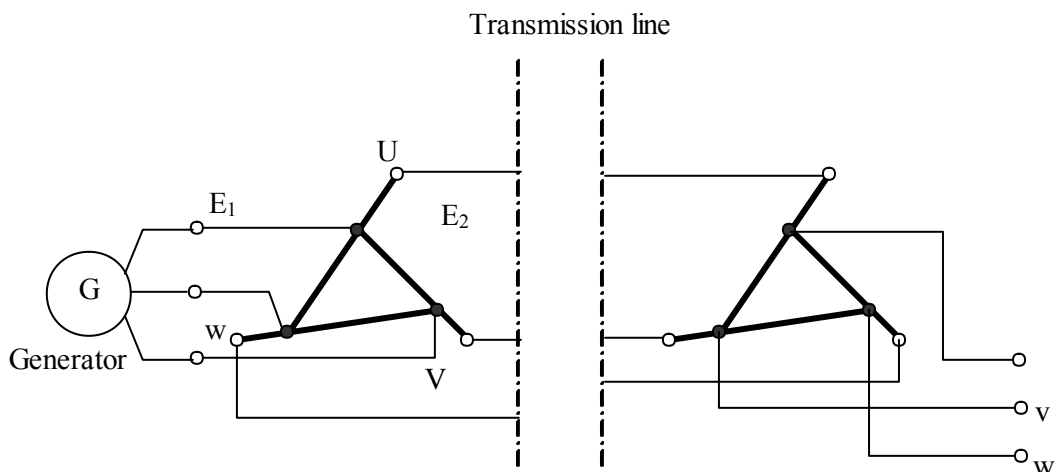
E_1 に 230 V 加えると、 E_2 は 608 V となる。

Source: JICA Study Team

図38 600/230 V 辺延び 結線

送電線の電圧を負荷電圧に下げるときは、前回と同じ結線の変圧器を用いる。

例:



Source: JICA Study Team

図39 負荷電圧への降圧